

GRADU AMAIERAKO LANA  
INGENIARITZA ELEKTRONIKOKO GRADUA

**AUTOMOBILEKO AIRE EGOKITUAREN  
MODELIZAZIOA SARE NEURONALEN BIDEZ**

---

Egilea: Maitane Ferreres Eceiza  
Zuzendaria: Estibaliz Asua Uriarte

Leioa, 2018ko ekainaren 22a



# Laburpena

Sare neuronal artifizialak neuronen sare elkarlotuan oinarritutako metodo konputazionalak dira. Sare neuronal elkarlotu hauek zeharo aldatu dute sistema informatikoek datuak tratatzeko duten ahalmena, telekomunikazioetan, medikuntzan, ekonomian eta beste hainbat arlotan aurrerapen handiak ekarriz.

Gradu amaierako lan honen helburua sare neuronal artifizialek sistema ezlinealak modelizatzeko duten ahalmena aztertzea da. Horretarako, ibilgailuko klimatizadore baten kontrola modelizatuko da, sare neuronalek sistema modelizatzeaz gain pertsonalizatzeko aukera ere ematen baitute. Sare neuronalek datuak behar dituzte ikasketa prozesua burutzeko. Datu errealak ezin ditugunez lortu, lehenengo, Matlaben bidez ibilgailuko klimatizadorearen eredua landuko da eta bere emaitzetatik datuak lortuko dira. Ondoren, datu hauekin sare neuronalen bidezko klimatizadorearen erantzunak aztertuko dira eta Matlabeko ereduaren datuekin konparatuko dira.



# Aurkibidea

<b>Sarrera</b>	<b>1</b>
<b>1 Klimatizadorearen oinarri teorikoa</b>	<b>3</b>
1.1 Beroa: Kontzeptu nagusiak . . . . .	3
1.2 Kondukzioa edo eroapena . . . . .	4
1.3 Konbekzioa . . . . .	5
1.4 Erradiazioa . . . . .	6
<b>2 Klimatizadorearen modelizazioa eta kontrola</b>	<b>7</b>
2.1 Ibilgailuaren eredu termodinamikoa . . . . .	8
2.2 Klimatizadorearen MATLABeko eredua . . . . .	14
<b>3 Sare neuronal artifizialen oinarri teorikoa</b>	<b>25</b>
3.1 Extreme Learning Machine metodoa . . . . .	26
<b>4 Klimatizadorearen kontrola sare neuronal artifizialen bidez</b>	<b>29</b>
4.1 Extreme Learning Machine kodea . . . . .	29
4.2 Extreme Learning Machine-aren erantzuna . . . . .	32
<b>Ondorioak</b>	<b>39</b>



# Sarrera

Adimen artifiziala, ingurunean gertatzen denaren arabera izaki bizidunen prozesu arrazional eta deduktiboak jarraituz erabaki bat hartzeko makina batek duen gaitasuna da. Kontzeptu hau XX. mendearen erdialdean hasi zen garatzen eta hurrezkerotik aurrerapen handiak egin dira. Adimen hau lortzeko teknika ezberdinak proposatu dira, baina azkeneko urteetan gehien ikertzen ari dena sare neuronal artifizialena da.



Sare neuronal artifizialek aplikazio ugari dituzte: teknika hauek erabiliz ikusmen artifiziala garatu da, esate baterako, azaleko orinak minbizi sortzaile diren jakin dezaiketen sistemak; seinale prozesaketan ere aurrerapen handiak ekarri ditu, seinalearen frekuentzia berdina duen zarata ezabatzea lortuz; halaber, ahots errekonozimendu sistema edo finantza ereduen aurreikuspen metodo berriak sortu dira.

Sare neuronalen aplikazioen artean sistema ezlinealen modelizazioa aipatu daiteke. Izan ere, sareak ikasketa prozesua burutzeko sistema baten sarrerako eta irteerako datuak soilik behar ditu, sistemaren barruko estruktura osoa ezagutu gabe [5].

Lan honen helburua sare neuronal artifizialen bidez ibilgailuko klimatizadorearen kontrola egitea izango da, ibilgailu barruko konforta areagotuz eta, nahi bada pertsonalizatuz.

Klimatizadorea ibilgailu baten konfort sistema garrantzitsuenetarikoa da. Klima-

tizazioaren bidez ibilgailuaren barruan baldintza klimatiko optimoak lortzen dira, bidaiarien konforta hobetuz. Ibilgailu barruko baldintza egokiak izateak, gidariaren arreta segurtasunean jartzea ahalbidetzen du, istripu arriskua gutxiagotuz.

Ibilgailu barrua nahi den baldintza mantentzeko kontrol algoritmoak exekutatu behar ditu klimatizadoreak. Izan ere, kontrol sistema hauek ibilgailuko konpartimentuaren egoeran dagoen aldaketa txikienaren aurrean erantzuteko gai izan behar dira. Sare neuronalak kontrol hau erraztu egingo lukete, erantzun pertsonalizatua eskaintzeaz gain.

Esan bezala, sare neuronal artifizialek datuak behar dituzte ikasteko, eta ikaske-ta horretatik datu berrien aurrean orokortzeko ahalmena izateko. Idealki pertsona ezberdinek lortutako datu sortak izan beharko genituzke nahi dugun klimatizadore optimo eta pertsonalizatu bat izateko. Datu hauek ez ditugunez eskuragarri, hurbilketa modura, Matlab programak eskaintzen duen klimatizadorearen eredutik datuak lortzea pentsatu da [10]. Eredua aztertuta lortzen diren emaitzak onak izan arren, ez direla errealistak ondorioztatu da. Aireak klimatizadoretik ateratzerakoan tenperatura altuegi edo baxuegiak ditu, ibilgailuaren tenperatura segundo batean aldatuz eta eragingailuak ere segundo erdian aldatuz. Hau horrela, Matlabeko eredua abiapuntutzat hartuta, Matlabeko eredu propio bat egitea erabaki genuen.

Lan hau lau ataletan banatu da. Lehenengo kapituluan, klimatizadorearen oinarri teorikoa garatu da, hau da, Matlaben sortu den ereduaren atzean dagoen termodinamikaren kontzeptu nagusiak azaldu dira. Bigarrenean, eredu honen modelizazioa eta kontrola nola egin den erakusten da. Ondoren, eredu honen simulaketak egin eta lortutako emaitzak azaldu ditugu. Hirugarren atalean, sare neuronal artifizialen metodoa azaldu da. Laugarren kapituluan, garatu den sare neuronalen eredua erakutsi eta lortutako emaitzak aurkeztu dira. Azkenik, ateratako ondorioak azaldu dira.



## 1. Kapituluia

# Klimatizadorearen oinarri teorikoa

Ibilgailu barruko airearen tenperatura bero transmisioak gertatzen direlako aldatzen da. Bero transmisio horiek iturri ezberdinak izan ditzakete. Esaterako, klimatizadoreak ibilgailuari artifizialki transmititzen dion beroa. Halaber, konpartimentua ez dagoenez guztiz isolatuta, kanpoko aireak duen tenperaturak ere eragin handia du ibilgailu barruko egoeran. Honez gain, kontuan hartu behar da ere bidaiari bakoitzak ingurunearekin trukatzeko duen beroa, eta, nola ez, eguzkiak ibilgailu barrura erradiatzen duena.

Beraz, ibilgailu bateko klimatizadorearen eredia egiten hasi baino lehen, funtsezkoa da ibilgailuko sistemaren termodinamika ulertzea. Horretarako, beroa zer den eta nola transmititzen den azalduko da [14][15].

### 1.1 Beroa: Kontzeptu nagusiak

Beroa gorputz edo sistema batetik beste batera tenperatura diferentzia baten ondorioz transferitzen den energia da;  $Q$  ikurraren bidez adierazten da. Gorputz bat  $T_1$  tenperaturatik  $T_2$  tenperaturara eramateko behar den beroa  $\Delta T = T_2 - T_1$  tenperatura aldaketarekiko eta  $m$  masarekiko proportzionala da:

$$Q = mc\Delta T \tag{1.1}$$

non  $c$  bero espezifikoa den. Bero espezifikoa sustantzia batean, egoera aldatu gabe, masaren unitate baterako bere tenperatura unitate batean igotzeko aplikatu beharreko bero kantitatea da. Aldaketa hori infinitesimala bada, trukatu den beroa ere infinitesimala izango da:

$$dQ = mcdT. \tag{1.2}$$

Beroa, halaber, entalpia aldaketarekin erlaziona daiteke. Gorputz baten  $dt$  denbora unitateko  $dQ$  bero aldaketari bero fluxua deritzo:  $\dot{Q} = \frac{dQ}{dt}$ . Bero fluxuak potentziaren unitateak ditu, potentzia bezala energia baita denboraren menpe. Potentzia hau  $\Delta H$  entalpia aldaketarekin erlazionatzen da,

$$\dot{Q} = \dot{m}\Delta H \quad (1.3)$$

non  $\dot{m}$  masa aldaketa indizea den. Entalpia sistema batek bere ingurunearekin trukatzeko duen energia adierazten duen magnitude termodinamikoa da. Energia hau beroa zein lana izan daiteke. Gas ideal batean, presio konstantean, entalpia aldaketa

$$\Delta H = C_p \Delta T \quad (1.4)$$

da, non  $\Delta T$  gasaren tenperatura aldaketa eta  $C_p$  gasaren presio konstanteko bero-ahalmena diren.

Tenperatura aldaketa eta beroa positiboak zein negatiboak izan daitezke. Positiboak badira gorputzean beroa sartuko da bere tenperatura handituz. Negatiboa bada ordea, beroa atera egingo da tenperatura txikituz.

Materialek hainbat modutan transmititzen dute beroa: kondukzio bidez, konbektzio bidez eta erradiazio bidez. Ibilgailuaren eredu termodinamikoan konbektzio eta erradiazio bidezko bero trukaketa hartu dira kontuan.

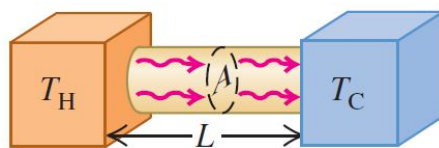
## 1.2 Kondukzioa edo eroapena

Kondukzio bidezko bero transmisioa solidoetan gertatzen da. Solido batean beroago dagoen zatian partikulen energia zinetikoa handitu egiten da, eta beren energiaren zati bat transmititzen diete ondoko partikulei higidurak sortutako bultzaden ondorioz. Horrela, energia altuagoa dutenez, beraien tenperatura handitu egiten da, beroa objektu osora hedatuz. Metaletan prozesu hau azkarrago ematen da elektroien askeak direla eta. Honek metalak bero eroale onak izatea eragiten du.

Tenperatura desberdina duten bi substantzia berdin elkar ukituz jartzean, beroa transmititzen da substantzia berotik substantzia hotzera, bi substantziek tenperatura berdina lortu arte. Orduan lortuko dugu oreka termikoa. Beroaren trukea orduantxe amaitzen da, eta tenperatura egonkortu egingo da.

Adibidez,  $A$  sekzio-azalerako eta  $L$  luzerako haga baten punta batean  $T_H$  tenperatura duen gorputz bero bat jartzen bada, beste puntan kontaktuan dagoen  $T_C$  tenperaturako gorputzari beroa transmitituko zaio kondukzio bidez, 1.1 irudian ikus daitekeen eskema jarraituz.

Hagan zehar  $dQ$  beroa transmititzen bada  $dt$  denboran, potentzia  $\dot{Q} = \frac{dQ}{dt}$  izango da, lehen esan bezala. Bero korrante hau ondorengo ekuazioaren bidez definitzen



1.1 irudia: Kondukzio bidezko bero-fluxua haga batean zehar.

da:

$$\dot{Q} = -kA \frac{T_C - T_H}{L}, \quad (1.5)$$

non  $k$  materialaren konduktibitate termikoa den. Tenperatura modu ez uniformean aldatzen bada hagan zehar, haga  $x$  ardatzean kokatuz tenperatura gradientea defini dezakegu bertan:  $\frac{dT}{dx}$ . Aurreko ekuazioa ondorengo bilakatuko da:

$$\dot{Q} = -kA \frac{dT}{dx}. \quad (1.6)$$

### 1.3 Konbekzioa

Konbekzioa fluido batean, tenperatura ezberdinak dituzten guneen arteko bero transferentzia da. Transmisio honen adibide dira gorputzeko odol fluxua, errekuntza motorren hozte sistema eta etxeetako berogailu sistema. Fluidoko zati baten tenperatura aldaketak zati horren dentsitate aldaketa eragiten du. Fluidoan dentsitate diferentziak agertzen direnez konbekzio korrante bat sortuko da. Korrante honek era berean beste dentsitate diferentzia bat sortuko du. Higidura zirkular horiek fluido guztia berotu edo hozten dute. Prozesu honi konbekzio naturala deritzo. Fluido bonba edo haizagailu baten bidez mugiarazten denean konbekzioa bortxatua dela esaten da.

Konbekzio bidez  $dt$  denboran fluido batean transmititzen den  $dQ$  beroa honela defini daiteke:

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = hA\Delta T \quad (1.7)$$

non,  $A$  bero iturriarekin kontaktuan dagoen azalera,  $\Delta T$  fluidoaren tenperaturaren eta gainazal hotz edo beroaren tenperaturaren arteko diferentzia, eta  $h$  konbekzio koefizientea diren.

Konbekzio bidez transmitituriko beroa zehaztea oso konplexua da, faktore asko hartu behar baitira kontuan. Besteak beste, kontaktuan dagoen gainazalaren forma, fluidoaren egoera, dentsitatea, biskositatea, bero espezifikoa eta konduktibitate termala eta fluidoaren abiadura. Faktore hauen arabera definituko da  $h$  konbekzio koefizientea. Bere balioa zehazteko oso kalkulu konplexuak egin behar dira.



1.2 irudia: Hodi bero batek inguruan duen ura berotzen du, konbekzio fluxu konplexu bat eraginez.

## 1.4 Erradiazioa

Erradiazioa uhin elektromagnetiko bidezko bero transferentzia da. Uhin elektromagnetikoak hutsean hedatzen direnez, bero transferentzia gertatzeko ez dago ingurune materialaren beharrik. Gorputz guztiek igortzen dute beroa erradiazio bidez beren temperaturaren arabera: zenbat eta handiagoa temperatura, orduan eta handiagoa erradiazioa. Izan ere, temperaturaren menpekoea da igortzen duten erradiazio elektromagnetikoaren uhin luzera. Giro temperaturan energia gehiena uhin infragorrietan transmititzen da, argi ikuskorra baina uhin luzera handiagoetan alegia. Temperatura 800°C inguru denean, gorputzak emititzen duen erradiazioaren uhin luzera txikitu egiten da, argi gorria emitituz. Hala ere, oraindik energia gehiena uhin infragorrien bidez transmititzen da. Era berean, 3000°C temperaturara heltzean gorputzak argi ikuskorreko uhin luzeretan erradiatzen du energia zati handi bat, argi zuri-gorria emitituz. Beraz, gorputz batek transmititutako potentzia eta erradiatutako erradiazio elektromagnetikoaren uhin-luzera gorputzaren temperaturak determinatzen du.

Erradiazioaren potentzia Stefan-Boltzmann legearen bidez kalkulatzen da. Lege honek ezartzen du  $A$  azalerako eta  $T$  temperaturadun igorle eta xurgatzaile perfektu baten bero fluxua

$$\dot{Q} = \sigma AT^4 \quad (1.8)$$

izango dela, non  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}^4$  Stefan-Boltzmann konstantea den.

## 2. Kapituluia

# Klimatizadorearen modelizazioa eta kontrola

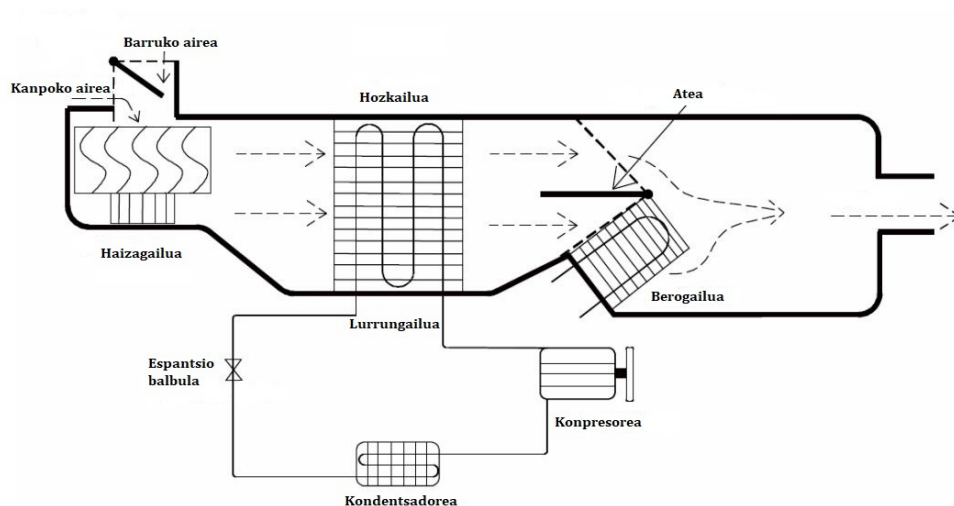
Behin beroa nola transmititzen den ulertuta, teoria hori praktikan jarri dugu. Ibilgailuaren konpartimentuko tenperatura erduztatzeko, klimatizadore baten erdua garatu da. Klimatizadorearen eredu honek bi zati ditu.

Alde batetik aire egokituaren zatia dugu. Zati honetan lortu nahi den tenperaturara iristeko behar den beroa sortzen da, airea berotuz edo hoztuz. Zati honi ingelesezko siglen bidez deituko zaio hemendik aurrera: HVAC (*heating, ventilating and air conditioning*). Bere eskema 2.1 irudian ikus daiteke. Bertan, lehenengo kanpoko edo barruko airea sartu nahi den aukeratu behar da. Sartutako aire hori hozkailutik pasatzen da, eta hau piztuta badago, airearen tenperatura jaisten da. Airea berotu nahi bada ordea, hozkailua itzalita egongo da eta airea berogailura joango da. Berogailuan berotuko den aire kantitatea ate baten bidez erregula daiteke, kanpotik datorren airearen eta berotutako airearen proportzioa zehaztuko duena. Azkenik, ibilgailuko konpartimentura sartzen dira, bertako tenperatura aldatuz. Beraz, HVACaren ereduak haizagailuaren potentzia, atearen posizioa eta berogailuaren eta hozkailuaren aktibazioa kontrolatuko ditu.

Beste aldetik, ibilgailuaren konpartimentuko tenperatura kalkulatu duen zatia dugu. Hemen, inguruak eta HVACak konpartimentuaren tenperatura nola aldatzen duten kalkulatu da. Horretarako, ereduak ingurunearen datuak jasotzen ditu.

Esan bezala, eredu hau egitearen helburua ondoren erabiliko ditugun datuak sortzea da. Horiekin, sare neuronal artifizialek HVACa modelizatuko dute, hau da, haizagailuaren potentzia, atearen posizioa eta berogailuaren eta hozkailuaren aktibazioa kontrolatuz. Horretarako, lau eragingailu hauen irteerako datuak edukitzeaz gain, hauen portaera baldintzatzen duten tenperaturak ere behar dira. Idealki, ibilgailu-

ko sentsoreek neurtutako datuak beharko genituzke, baina datu hauek ez ditugunez eskuragarri, konpartimentuaren ereduaren bidez datu hurbilduak lortu dira.



2.1 irudia: HVACaren eskema [3][2]. Haizagailua, konporta, berogailua eta hozkailua.

## 2.1 Ibilgailuaren eredu termodinamikoa

Ibilgailuaren barruko tenperatura aldaketak estimatzeko, konpartimentuko eredu termodinamikoa garatu dugu. Horretarako, teorian ikusitako beroaren ekuazioak erabili dira. Konpartimentuko beroaren denbora unitateko aldaketa 1.2 ekuazioaren bidez azaldu daiteke:

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = m_{air} C_{air} \frac{dT_{air}}{dt} \quad (2.1)$$

non,  $m_{air}$  konpartimentuko airearen masa,  $C_{air}$  airearen bero espezifikoa eta  $\frac{dT_{air}}{dt}$  denbora unitateko ibilgailuko tenperaturaren aldaketa diren. Beraz,  $T_{int}$  konpartimentuko tenperatura horrela zehaztuko da:

$$T_{int} = \frac{1}{C_{air} m_{air}} \int \dot{Q} dt. \quad (2.2)$$

Ibilgailu baten eredu termodinamikoa oso konplexua da, baina sinplifikatzearen ibilgailuaren konpartimentuko egoeran eragina duten lau faktore nagusiak hartu dira kontuan:  $Q_{HVAC}$  HVACtik ateratzen den aireak konpartimentuarekin trukutzen duen beroa,  $Q_{passenger}$  bidaiarien gorputzeko beroa,  $Q_{out}$  ibilgailuak kanpoko airearekin trukutzen duena eta  $Q_{rad}$  eguzkiak erradiaturiko beroa. Honela,

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{HVAC} + \dot{Q}_{passenger} + \dot{Q}_{out} + \dot{Q}_{rad}. \quad (2.3)$$

### 2.1.1 Bidaiarien beroa

Ibilgailu barruan dauden bidaiariak ingurunera beroa transmitituko dute. Bero hau estimatzeko lehenengo zenbat bidaiari dauden jakin behar da. Bidaiari kopurua eserlekuetan ezarritako pisu sentsoreen bidez jakin daiteke. Kotsideratuko da bidaiariak aktibitate sedentarioan daudela. Gorputz batek eserita dagoenean kanporatzen duen bero fluxua  $\dot{Q}_{body} = 126 \text{ W}$  da [6]. Beraz, bidaiarien beroa denbora unitateko

$$\dot{Q}_{passenger} = n\dot{Q}_{body} \quad (2.4)$$

izango da, non  $n$  bidaiari kopurua den.

### 2.1.2 Kanpoko beroa

Ibilgailua ez dago guztiz isolatuta, hau da, kanpoko ingurunearekin bero trukaketa dago. Bero hau masa trukatzeko den aire masaren menpe egongo da. Bero fluxua  $\Delta h$  entalpia espezifikaren diferentzia bezala ere definitu daitekeela ikusi da 1.3 ekuazioan. Entalpia  $\Delta T$  ibilgailu barruko eta kanpoko tenperaturen arteko diferentziaren eta  $C_p$  bero-ahalmenaren menpe idatziz

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m}_{car} C_p \Delta T \quad (2.5)$$

lortuko dugu, non  $C_p = 1012 \text{ J/KgK}$  eta masa aldaketa indizea, hau da, ibilgailuak eta inguruneak elkar trukatzeko duten masa denborarekiko,  $\dot{m}_{car} = 0.1202 \text{ kg/s}$  den [7].

### 2.1.3 Eguzki erradiazioaren beroa

Eguzkiak beroa erradiazio moduan emititzen du, Stefan-Boltzmannen legea jarraituz (1.8) ekuazioan ikus daitekeen bezala. Erradiazio honen intentsitatea lur-azalera iristean

$$I_{sun} = \sigma T_s^4 \left( \frac{r}{R_s} \right)^2 \quad (2.6)$$

da, non  $\sigma$  Stefan-Boltzmann konstantea,  $T_s$  eguzkiaren tenperatura,  $r$  eguzkitik lurrera dagoen distantzia eta  $R_s$  eguzkiaren erradioa diren. Eguzkiaren erradioazioa lur azalean  $I_{sun} = 1000 \text{ W/m}^2$ -koa da [7] zerua oskarbi dagoenean. Hala ere, erradiazioa jaitsi egingo da hodeiak daudenean. Hau kontuan hartzeko eguzki erradiazioaren indarra adierazten duen  $\alpha$  faktorea sar daiteke ekuazioan. Beraz, ibilgailuan sartzen den erradiazioa, leihoen  $A_{window}$  azalerarekiko proportzionala izango da:

$$\dot{Q}_{sun} = \alpha \sigma T_s^4 \left( \frac{r}{R_s} \right)^2 A_{window}. \quad (2.7)$$

Kotxeko konpartimentuak ere bere aldetik erradiazioa emitituko du:

$$\dot{Q}_{car} = \sigma T_c^4 A_{car}. \quad (2.8)$$

Kasu honetan,  $T_c$  kotxearen tenperatura da eta  $A_{car}$  kotxearen azalera. Pentsa genezake kotxeak erradiatutako bero guztia kanpora aterako litzatekela, hau da,  $\dot{Q}_{sun} = \dot{Q}_{car}$ . Errealitatean ordea, berotegi efektua kontuan hartu behar da. Ibilgailuak gehien bat uhin infragorrietan erradiatzen du beroa. Uhin hauek ez dute ibilgailuaren leihoetako beira gurutzatzen eta ibilgailu barruan gelditzen dira, konpartimenduko beroa areagotuz.

Gainazal batek erradiazioa jasotzen duenean, erradiazio horren zati bat islatu egiten du. Islatzen duen erradiazio portzentajeari albedoa deritzo. Gorputz beltz idealaren albedoa 100 izango litzateke, islatzaile zuri perfektuarena berriz 0. Ibilgailu baten albedoa beraz ibilgailuaren kolorearen arabera da, kolore ilunek erradiazioaren %32a islatzen dute, zuriak %50 islatzen duten bitartean [1]. Lan honetan ibilgailuaren albedoa %40 dela kontsideratu da. Beraz, xurgatuko den erradiazioaren faktorea  $f = 0.6$  izango da. Honela,

$$\dot{Q}_{gh} = f\dot{Q}_{car} = f\sigma T_c^4 A_{car}. \quad (2.9)$$

Beraz, erradiazio bidez kotxeak jasotzen duen energia bi bero hauen batura izango da, hots,

$$\dot{Q}_{rad} = \dot{Q}_{sun} + \dot{Q}_{gh}. \quad (2.10)$$

#### 2.1.4 HVACaren beroa

Azaldu den bezala, HVACaren bidez, nahi den konpartimentuko tenperatura lortzeko beroa sortuko da. HVACak ibilgailuarekin trukatu duen bero hori klimatizadoreko eragingailuek baldintzatzen dute, jarraian azalduko den moduan.

#### Eragingailuak

HVACaren eredua egiteko hiru tenperatura ezagutu beharko dira: ibilgailuko konpartimentuko  $T_{inter}$  tenperatura, ibilgailuaren barruan nahi den  $T_{req}$  tenperatura eta HVACra sartzen den airearen  $T_{in}$  tenperatura. Bidaiaariak ezarriko ditu  $T_{req}$  tenperatura eta birzirkulazioa nahi den ala ez. Birzirkulazioak sistemak aire barrutik edo kanpotik hartuko duen zehaztuko du. HVACak tenperatura hauen informazioa jasoko du uneoro eta tenperaturak konparatuz zer egin behar den erabakiko da: hozkailua edo berogailua piztu edo itzali behar den ikusiko da, 2.1 taulan ikus daitekeenaren arabera.



Egoera	Berogailua	Hozkailua
$T_{req} < T_{inter}$ eta $T_{req} < T_{in}$	$ActH = 0$	$ActAC = 1$
$T_{req} \leq T_{inter}$ eta $T_{req} \geq T_{in}$	$ActH = 0$	$ActAC = 0$
$T_{req} \geq T_{inter}$ eta $T_{req} \leq T_{in}$	$ActH = 0$	$ActAC = 0$
$T_{req} < T_{inter}$ eta $T_{req} < T_{in}$	$ActH = 1$	$ActAC = 0$

2.1 taula: Tenperatura diferentzien arabera HVACko hozkailua eta berogailua noiz pizten diren zehazten da.

Hozkailua piztuta edo itzalita dagoen  $ActAC$  aldagaiak determinatuko du:  $ActAC = 1$  denean piztuta egongo da, eta  $ActAC = 0$  denean itzalita. Berogailua era berean piztu edo itzaliko da  $ActH$  aldagaiaren arabera. Eskatu den tenperatura barruan dagoena baino hotzagoa bada, eta kanpoko airea eskatu dena baino hotzagoa bada, ez dago hozkailua piztu beharrik. Alderantzizko kasuan, eskatu den tenperatura barrukoa baino beroagoa denean eta kanpoan aire beroagoa dugunean, ez dago berogailua martxan jarri beharrik ere.

Egoera	Haizagailua
Beti	$fan = \frac{0.9}{ T_{req} - T_{ext} }  T_{req} - T_{inter}  + 0.1$

2.2 taula: HVACko haizagailuaren potentzia ( $fan$ ) tenperaturaren arabera.

HVACak berogailua eta hozkailuaz gain, haizagailua eta atea ere kontrolatu behar ditu. Haizagailuaren potentziari  $fan$  deituko diogu. Potentzia hau,  $T_{inter}$ ,  $T_{req}$  eta  $T_{ext}$ -ek definituko dute,  $T_{ext}$  kanpoko tenperatura izanik. Potentzia hau  $[0.1, 1]$  tartean egongo da. Haizagailuak balio maximoa hartuko du HVACra sartzen den airearen tenperatura eta desiratutako tenperaturaren arteko ezberdintasuna  $20^{\circ}\text{C}$  baino handiagoa denean. Bidaiariak ezarritako tenperatura lortzen denean ordea balio minimoa hartuko du. Tartean tenperatura aldaketarekiko lineala izango da, 2.2 taulan ikus daitekeen bezala.

Berogailua motorraren tenperatura jaisteko erabiltzen den urez dago beteta. Ur honek beroa trukutzen du motorrarekin, hala motorraren tenperatura jaitsi egingo da urarena handitzen den bitartean. Hau horrela, kotxea martxan dagoen bitartean berogailua beti egongo da martxan. Horregatik, airea berogailutik pasatzea nahi

ez bada, bertara bidean dagoen atea itxi egin beharko da. Ate honen egoera  $flap$  aldagaiaren bidez determinatuko da. Honela, atea itxita dagoenean  $flap = 1$  izango da. Berogailutik pasatzea nahi bada ordea, atea ireki egingo da 2.3 taulan agertzen den moduan. Irekiera hau tenperatura diferentziaren funtzio lineal bezala definituko da. Atea guztiz zabalik dagoenean  $flap = 0$  izango da.

Egoera		Atea
Berogailua piztuta	$ T_{req} - T_{inter}  +  T_{req} - T_{in}  \geq 20$	$flap = 0$
	$ T_{req} - T_{inter}  +  T_{req} - T_{in}  < 20$	$flap = 1 - 0.05( T_{req} - T_{inter}  +  T_{req} - T_{in} )$
Berogailua itzalita	Beti	$flap = 1$

2.3 taula: HVACko atearen irekiera egoeraren arabera.

### Irteerako tenperatura eta beroa

Berogailuak zein hozkailuak konbekzio bidez elkar trukutzen dute beroa airearekin. (1.7) ekuazioa jarraituz aireak lortuko duen tenperatura kalkula daiteke. Honela,  $Q_C$  airea hozkailutik pasatzerakoan utzitako beroa izango da eta  $Q_H$  aireak berogailutik pasatzean jasotzen duena. Horrela definitzen dira:

$$\dot{Q}_C = hA_C(T_C - T_{mean}) \quad (2.11)$$

$$\dot{Q}_H = hA_H(T_H - T_{mean}) \quad (2.12)$$

non  $h$  airearen konbekzio koefizientea,  $A_C$  eta  $T_C$  hozkailuaren azalera eta tenperatura,  $A_H$  eta  $T_H$  berogailuaren azalera eta tenperatura hurrenez hurren, eta  $T_{mean}$  jarraian azalduko den tenperatura diren. Berogailu edo hozkailuak puntu bakoitzean aireari ematen dion beroa, aireak puntu horretan duen tenperaturaren menpekoea da. Ezin dugunez airearen puntu bakoitzeko tenperatura kalkulatu, hurbilketa bat egin eta batez besteko tenperatura kontsideratu behar da.

Berogailuan edo hozkailuan transmititutako bero honek airean tenperatura aldaketa eragingo du. Tenperatura hau 1.3 ekuazioa erabiliz lor daiteke:

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_{HVAC}C_p(T_{Cout} - T_{in}) = hA_C(T_C - T_{mean}) \quad (2.13)$$

$$\dot{Q}_H = \dot{m}_{HVAC}C_p(T_{Hout} - T_{in}) = hA_H(T_H - T_{mean}). \quad (2.14)$$

non  $T_{in}$  aireak HVACra sartzean duen tenperatura den. Lortu nahi diren balioak  $T_{Cout}$  eta  $T_{Hout}$  dira, hozkailutik eta berogailutik ateratzean aireak duen tenperatura alegia. Hurrenez hurren:

$$T_{Cout} = \frac{hA_C(T_C - T_{mean})}{\dot{m}_{HVAC}C_p} + T_{in} \quad (2.15)$$

$$T_{Hout} = \frac{hA_H(T_H - T_{mean})}{\dot{m}_{HVAC}C_p} + T_{in} \quad (2.16)$$

non,  $\dot{m}_{HVAC}$  HVACeko masa-fluxua den. Hau haizagailuaren potentziaren menpe dago. Haizagailuak hainbat eta potentzia handiagoa eduki, masa-fluxua orduan eta handiagoa izango da. Beraz, masa-fluxua airearen abiaduraren eta HVACko zehar-sekzioaren menpe egongo da (datuak [12]-tik lortu dira):

$$\dot{m}_{HVAC} = fan \cdot 8.36 \frac{kg}{s \cdot m^2} \cdot 0.22m^2. \quad (2.17)$$

Aipatu den bezala,  $h$  konbekzio koefizientea definitzea konplexua da. Koefiziente hori, masa-fluxu jakin baterako kalkulatuta dago [12]-n, baina haizagailuaren potentzia aldatzen doan heinean masa-fluxua aldatuko da. Beraz, konbekzio koefizientearen masa-fluxuarekiko menpekotasuna ezagutu beharko da. [13]-n arabera erlazio hori

$$\frac{h_2}{h_1} = \left( \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_1} \right)^{0.8}. \quad (2.18)$$

modura idatzi daiteke. Behin erlazio hau lortuta konbekzio faktorea definituta dugu.

Berogailu eta hozkailutik ateratzen den airearen tenperatura jakinda, HVACtik aterako den airearen tenperatura jakin dezakegu. HVACak airea hoztu behar duenean, ikusi dugun bezala  $flap = 0$  izango da. Kasu honetan,

$$T_{HVAC} = T_{Cout} \quad (2.19)$$

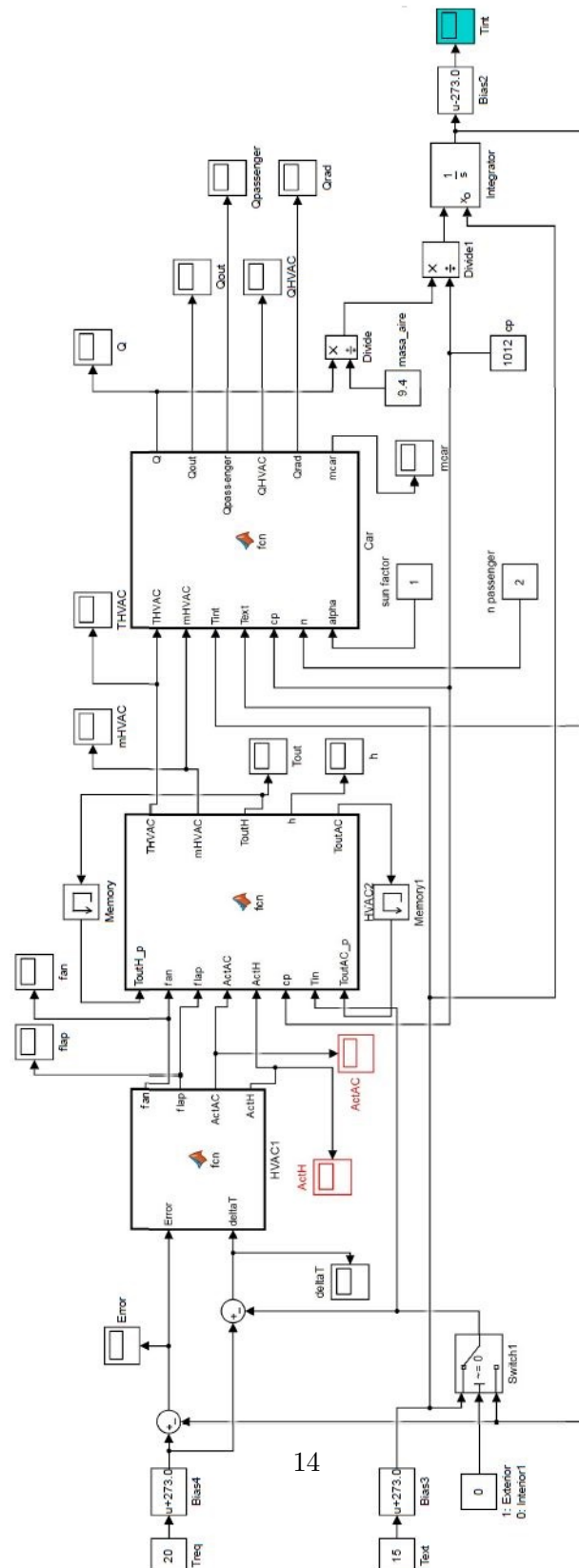
izango da. Berogailua piztuta dagoenean ordea HVACtik aterako den airearen tenperatura  $flap$ -aren menpe egongo da:

$$T_{HVAC} = flap \cdot T_{in} + (1 - flap) \cdot T_{Hout}. \quad (2.20)$$

Beraz, HVACak konpartimentuarekin trukatu duen beroa ondorengoa izango da:

$$\dot{Q}_{HVAC} = \dot{m}_{HVAC}C_p(T_{HVAC} - T_{inter}). \quad (2.21)$$

## 2.2 Klimatizadorearen MATLABeko eredua



2.2 irudia: MATLABen implementatu den ibilgailu baten klimatizadorearen eskema.

Aurreko atalean teorikoki aztertu den eredu termodinamikotik abiatuz, Simulink programan klimatizadorea ereduztatu da (ikusi 2.2 irudia). Ereditu honetan ibilgailuaren barruko hasierako tenperatura kanpo tenperatura dela suposatuko da. Beraz, tenperatura hauek ezagututa, gidariak ezarritako tenperaturara iristeko HVACaren eragingailuak martxan jartzen dira. HVACak ibilgailuarekin trukatzeko duen beroak ibilgailu barruko sistema nola aldatzen duen kalkulatu da eta horren arabera HVACko kontrola egin dugu. Eredituak hiru funtzio nagusi ditu: HVAC1, HVAC2 eta Car.

Lehenengo funtzioa HVAC1 da. Funtzio honek HVACko eragingailuen egoera zehazten du: *flap*, *fan*, *ActAC* eta *ActH*. Ereditu termodinamikoan zehaztu diren balidintzen arabera definitzen dira (ikusi 2.1 taula, 2.2 taula eta 2.3 taula).

```

1 function [fan, flap, ActAC, ActH] = fcn(Error, deltaT)
2 %% Fan-aren kontrola
3 fan = 0.9 / abs(deltaT) * abs(Error) + 0.1;
4
5 %% Flap-aren kontrola eta ON/OFF kontrola
6 ActAC = 0;
7 ActH = 0;
8 flap = 1;
9
10 if (Error < 0 && deltaT < 0)
11     ActAC = 1;
12     flap = 1;
13 end
14 if (Error > 0 && deltaT > 0)
15     ActH = 1;
16     if (Error + deltaT >= 20)
17         flap = 0;
18     else
19         flap = 1 - (Error + deltaT) * 0.05;
20     end
21 end

```

2.1: HVAC1 funtzioa, non  $Error = |T_{req} - T_{inter}|$  eta  $deltaT = |T_{req} - T_{in}|$  diren.

HVAC2 funtzioan HVAC1 funtzioan definitu diren eragingailuen egoeren arabera HVACtik aterako den airearen tenperatura kalkulatu da. Aurreko atalean ikusi den bezala konbekzioz berogailuak eta hozkailuak airearekin trukatzeko duten beroa airearen tenperaturaren batez bestekoaren eta berogailuaren arabera dela. Hurbilketa bat eginez lehenengo iterazioko airearen irteerako tenperatura zehaztu da. Ondorengo iterazioetan aurreko iterazioko airearen irteerako tenperatura erabiliz batez bestekoa kalkulatu da.

```

1 function [THVAC, mHVAC, ToutH, h, ToutAC] = fcn(ToutH_p, fan, flap, ActAC, ActH, cp,
2 Tin, ToutAC_p)
3 %% Hozkailuaren eta berogailuaren azalerak eta tenperaturak

```

```

3 Ah=1.5;%m^2
4 Th=370;%K
5 Ac=1;%m^2
6 Tc=273;%K
7
8 %%Masa-fluxua eta konbektzio koefizientea
9 mHVAC=fan*8.36*0.22;%kg/s
10 h=307*(fan)^(0.8);%W/m^2/K
11
12 %%HVAC-tik aterako den airearen tenperatura
13 TmedH=(Tin+ToutH_p)/2;%K
14 TmedAC=(Tin+ToutAC_p)/2;%K
15
16 ToutH=ToutH_p;%K
17 ToutAC=ToutAC_p;%K
18
19 if (ActH~=0)
20     ToutH=h*Ah/mHVAC/cp*(Th-TmedH)+Tin;%K
21     THVAC=flap*Tin+(1-flap)*ToutH;%K
22 elseif (ActAC~=0)
23     ToutAC=h*Ac/mHVAC/cp*(Tc-TmedAC)+Tin;%K
24     THVAC=ToutAC;%K
25 else
26     THVAC=Tin;%K
27 end

```

2.2: HVAC2 funtzioa. Aurreko iterazioko irteerako tenperatura jakinda airearen batez besteko tenperatura kalkulatzen da, eta ondoren, iterazio horretako irteerako tenperatura.

Azkenik, Car funtzioan ibilgailuaren sistemaren bero fluktuazioak kalkulatzen dira, kanpoko inguruneak eta HVACak eragindakoak alegia. Sistemak ingurunearekin trukaturako beroaren arabera sistemaren tenperatura aldaketa lor daiteke, ibilgailuaren barruko tenperatura zehaztuz.

```

1 function [Q,Qout,Qpassenger,QHVAC,Qrad,mcar]= fcn(THVAC,mHVAC,Tinter,Text,n,
    alpha)
2 %% Konstanteak
3 mcar=0.1202;% kg/s
4 sigma=5.67/10^8;% W/m^2/K^4
5 Acar=8;% m^2
6 Awindow=1.7;% m^2
7 f=0.6;
8 Cp=1012;
9
10 %% Bero-fluxuak eta bero-fluxu totala
11 Qrad=f*sigma*Tinert^4*Acar+1000*alpha*Awindows;% W
12 QHVAC=mHVAC*cp*(THVAC-Tinter);% W
13 Qpassenger=n*126;% W
14 Qout=mcar*cp*(Text-Tinter);% W
15 Q=QHVAC+Qout+Qpassenger;% W

```

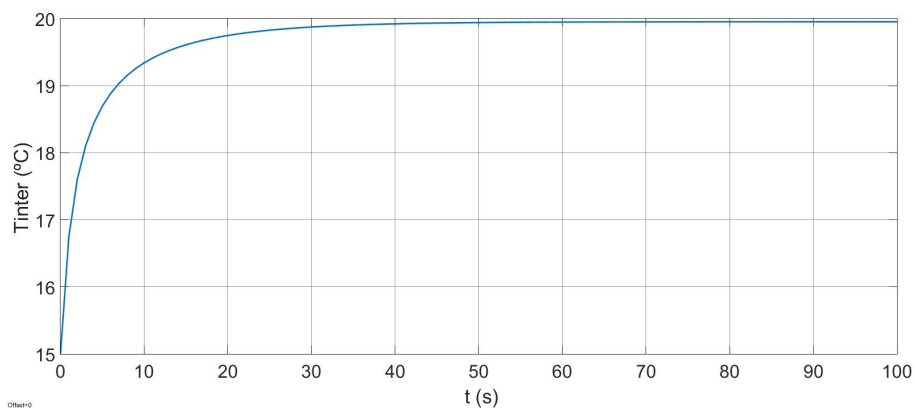
2.3: Car funtzioa.

### 2.2.1 Simulazioak

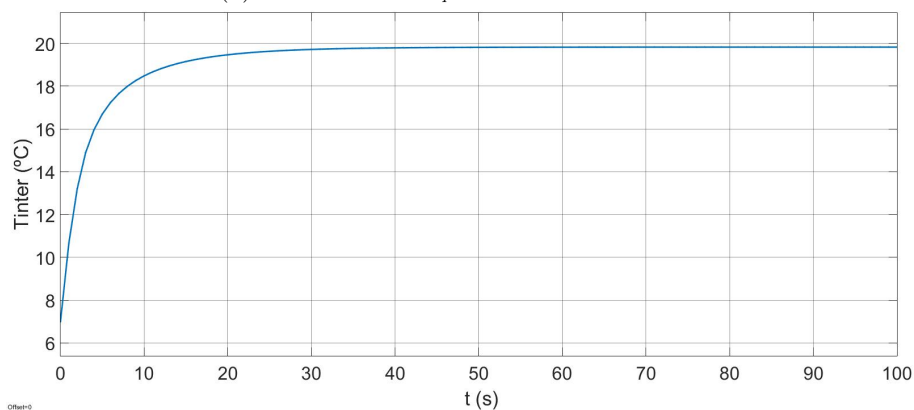
#### Berogailua

Simulink programa erabiliz egindako ereduaren simulatu dugu. Hainbat egoera ezberdin aztertzeko, simulaketa ezberdinak egin dira. Lehenengo berogailuaren funtzionamendua aztertu da. Horretarako, barruko tenperatura  $20^{\circ}\text{C}$ -tan nahi izanik, kanpoko tenperatura  $15^{\circ}\text{C}$ ,  $7^{\circ}\text{C}$  eta  $0^{\circ}\text{C}$ -tan ezarri eta simulaketak egin dira. Hurbilketa bat eginez  $T_{inter}^0$  hasierako barruko tenperatura,  $T_{ext}$  kanpoko tenperaturaren berdina izatea erabaki da.

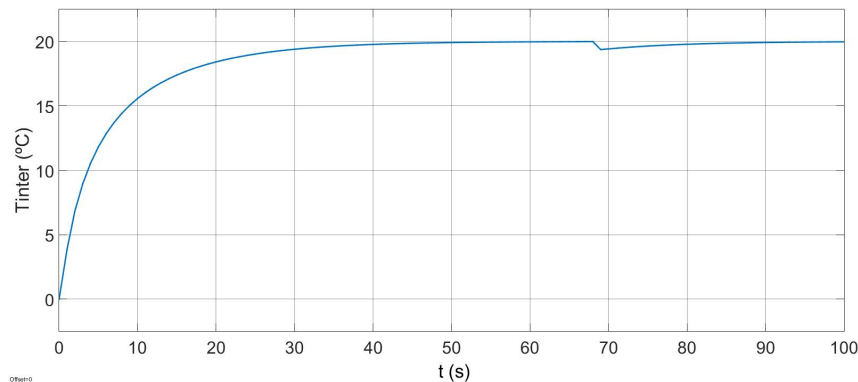
Simulazioetatik lortutako 2.3 irudian ikus daiteke berogailua martxan jartzen denean erraz iristen garela gidariak eskatutako tenperaturara. Gainera, *flapari* esker HVACtik ateratzen den airearen tenperatura kontrolatzen da. Grafikoetan ikus dezakegu  $T_{inter}^0$   $15^{\circ}\text{C}$  eta  $T_{inter}^0$   $7^{\circ}\text{C}$  direneko egoeretan oreka lortzen dela,  $T_{inter}^0$   $0^{\circ}\text{C}$  denean ordea ikus daiteke  $20^{\circ}\text{C}$ -ak gainditzerakoan jauzi bat dagoela. Argiago ikusten da une horretan zer gertatzen den ActH eragingailuari erreparatzen badiogu (2.4 irudia). Une horretan ActH itzali egiten da, bi segundoren ostean berriz aktibatzen.



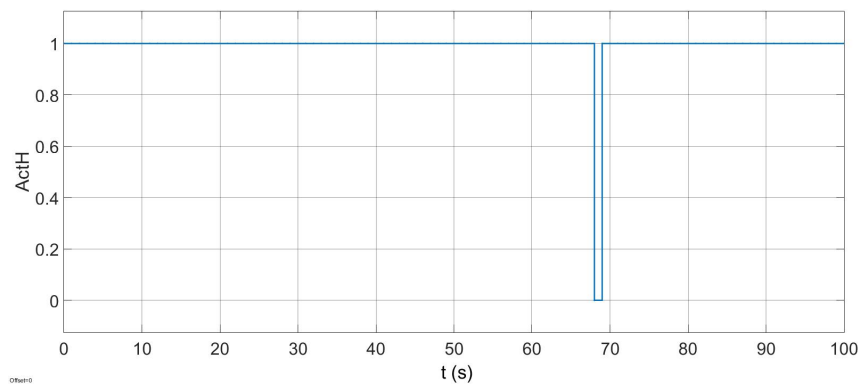
(a)  $T_{ext}$   $15^{\circ}\text{C}$  eta  $T_{req}$   $20^{\circ}\text{C}$  deneko simulaketa.



(b)  $T_{ext}$   $7^{\circ}\text{C}$  eta  $T_{req}$   $20^{\circ}\text{C}$  deneko simulaketa.

(c)  $T_{ext}$  0°C eta  $T_{req}$  20°C deneko simulaketa.

2.3 irudia: Ibilgailuaren barruko tenperatura denboraren menpe. Kanpoko tenperatura gidariak eskaturikoa baino txikiagoa deneko egoera  $ActH = 1$ .

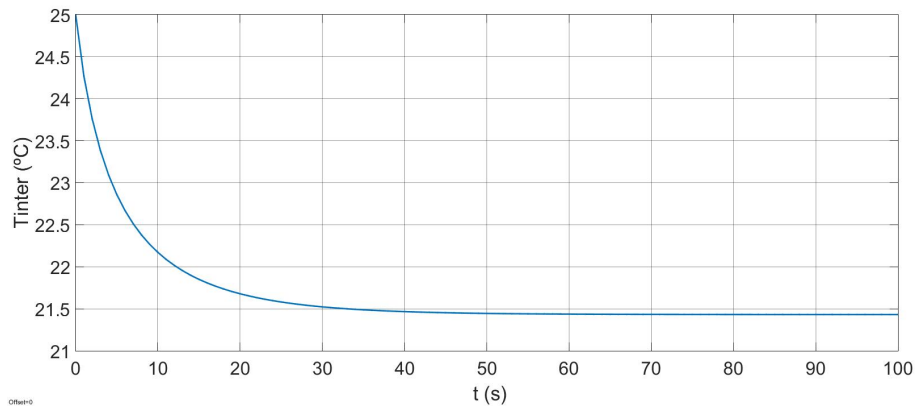
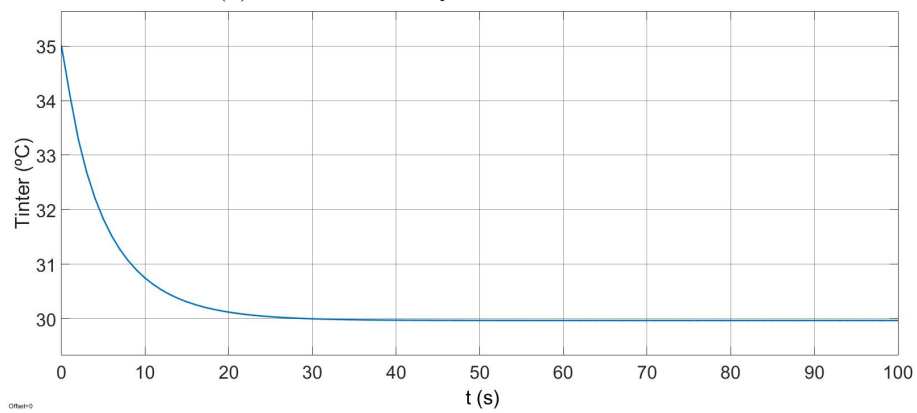
2.4 irudia:  $ActH$  eragingailua denboraren menpe,  $T_{ext}$  0°C eta  $T_{req}$  20°C denean.

## Hozkailua

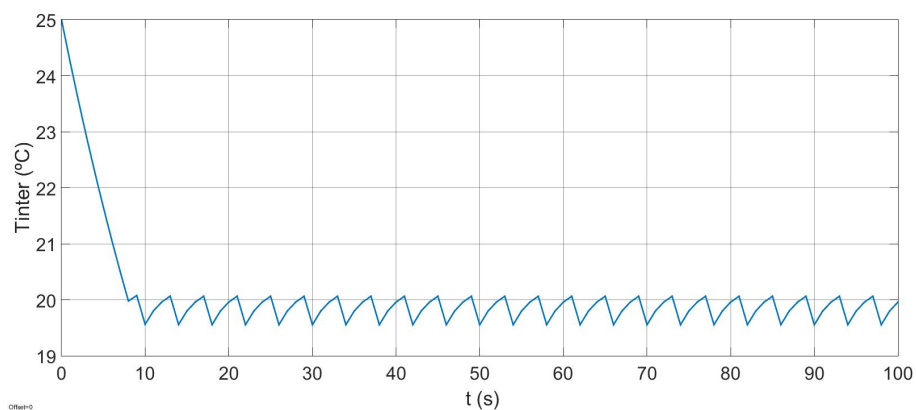
Behin berogailuak ondo funtzionatzen duela frogatuta hozkailua aztertu da. Horretarako, ibilgailuaren gidariak eskaturiko tenperatura 20°C-n ezarri bada ere, oraingoan kanpoko tenperatura 25°C eta 35°C-tan ezarri da. Lortu diren emaitzetan ikus daiteke (2.5 irudia) hozkailuak ez duela lortzen ibilgailua nahi den tenperaturara eramatea. Gidariak eskaturikoa baino handiagoak diren tenperaturetan lortzen da oreka.

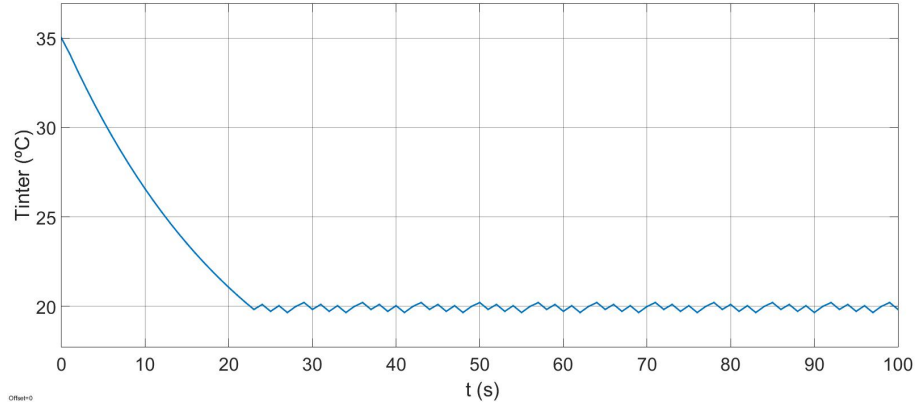
Hozkailuaren potentzia txikiegia da tenperatura altuko airea hozteko. Hau konpontzeko, airearen birzirkulazioa aktibatzea pentsatu dugu, hau da, ibilgailutik hartzea hozkailutik pasako den airea. Horrela, hartzen den airea gero eta hotzagoa egongo da, hozkailuaren lana erraztuz. Aldaketa hau eginez lortu diren emaitzak 2.6 irudian ikus daitezke.



(a)  $T_{ext} = 25^{\circ}\text{C}$  eta  $T_{req} = 20^{\circ}\text{C}$  deneko simulaketa..(b)  $T_{ext} = 35^{\circ}\text{C}$  eta  $T_{req} = 20^{\circ}\text{C}$  deneko simulaketa.

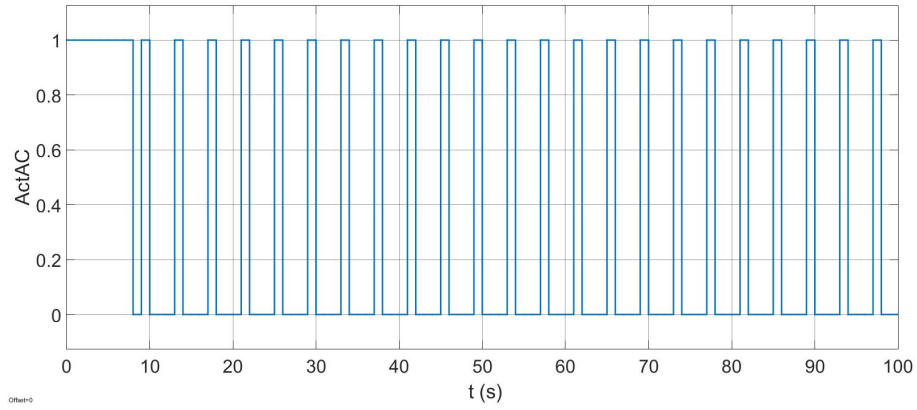
2.5 irudia: Ibilgailuaren barruko tenperatura denboraren menpe. Kanpoko tenperatura gidariak eskaturikoa baino altuagoa deneko egoera.

(a)  $T_{ext} = 25^{\circ}\text{C}$  eta  $T_{req} = 20^{\circ}\text{C}$  deneko simulaketa.

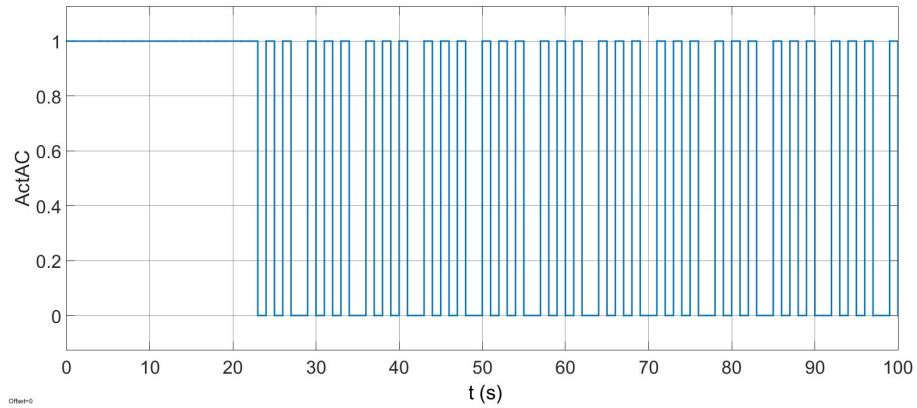


(b)  $T_{ext}$  35°C eta  $T_{req}$  20 °C deneko simulaketa.

2.6 irudia: Ibilgailuaren barruko tenperatura denboraren menpe. Kanpoko tenperatura gidariak eskaturikoa baino altuagoa deneko egoera, airearen birzirkulazioa aktibatuz.



(a)  $T_{ext}$  25°C eta  $T_{req}$  20 °C deneko simulaketa.



(b)  $T_{ext}$  35°C eta  $T_{req}$  20 °C deneko simulaketa.

2.7 irudia: ActAC eragingailua denboraren menpe.

Airearen birzirkulazioa sartu denean 20°C-ko temperaturara erraz iristen dela ikusten da. Hala ere, ez du orekarik lortzen, 20°Cak gainditzekoan itzali egiten da eta honek temperaturaren igoera eragiten baitu. Temperatura igoera horrek hozkailua berriz pizten du 20 °Cak berriz gaindituz, etengabe. Hau argiago ikusteko ActAC irudikatu dugu argiago ikusteko eragingailua segundo bat edo biren periodizitatearekin piztu eta itzaltzen dela (ikusi 2.7 irudia).

## Histeresia

Ikusi dugu hozkailua edo berogailua aktibatuta daudenean eskaturiko temperaturara iristean itzali egiten direla, segundo gutxiren ostean berriz pizteko. Pizte eta itzaltze azkar honek ponpen, erelen, balbulen eta beste mekanismo askoren balio-bizitza murrizten du. Hau ekiditeko lortu nahi den temperaturatik tarte bat utziko da. Hozkailua, temperatura tarte horren azpiko mugara iristean itzali egingo da eta horrela mantenduko da temperatura tartearen goiko mugara iristen den arte. Berogailuarekin alderantzizkoa beteko da. Teknika honi histeresia deritzo, eta itzaltze eta piztearen arteko denbora luzatzea lortzen du. Histeresi hau diseinatu den HVACan aplikatu dugu.

Histeresia aplikatzeko orduan kontuan hartu behar dugu temperatura tartearen barruan berogailua eta hozkailua piztuta edo itzalita egon daitezkeela. Temperatura tartearen barruan eragingailuek piztuta noiz egon behar duten zehazteko, *status* eta *status\_p* aldagaiak sortu ditugu, irteerarako eta sarrerarako hurrenez hurren. Irteerako *status* aldagaia memoria baten bidez gordetzen da, eta horrela aurreko iterazioetan temperatura goi ala behe mugara iritsi den jakin dezakegu. Honen arabera, *ActAC* eta *ActH*-ren aktibazioa erabakitzen da.

```

1 function [status , fan , flap , ActAC , ActH] = fcn ( status_p , error , deltaT )
2
3 %%Fan-aren kontrola
4
5 fan = 0.9 / abs ( deltaT ) * abs ( error ) + 0.1 ;
6
7 %%Histeresia
8
9 his = 1 ;
10
11 if ( error > his )
12     status = 0 ;
13 elseif ( error < -his )
14     status = 1 ;
15 else
16     status = status_p ;
17 end

```

```

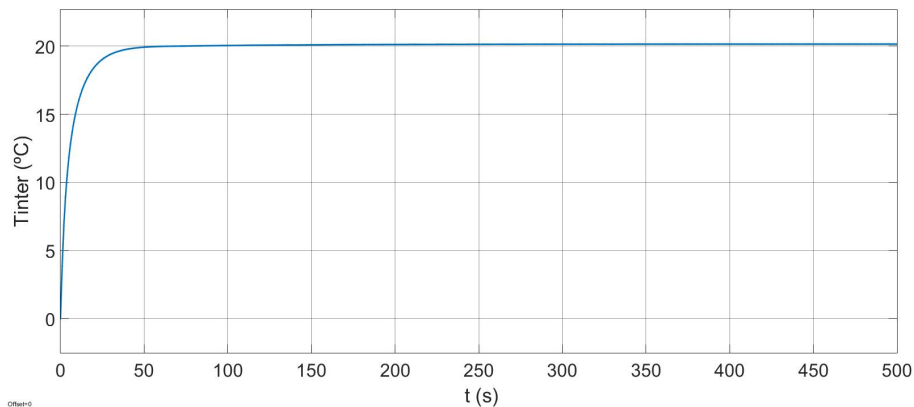
18
19 %%ON/OFF kontrola eta flap-aren kontrola
20
21 ActAC=0;
22 ActH=0;
23 flap=1;
24
25 if (deltaT<0) && (status==1)
26     ActAC=1;
27 end
28 if (deltaT>0) && (status==0)
29     ActH=1;
30     if (error+deltaT>=20)
31         flap=0;
32     else
33         flap=1-(error+deltaT)*0.05;
34     end
35 end

```

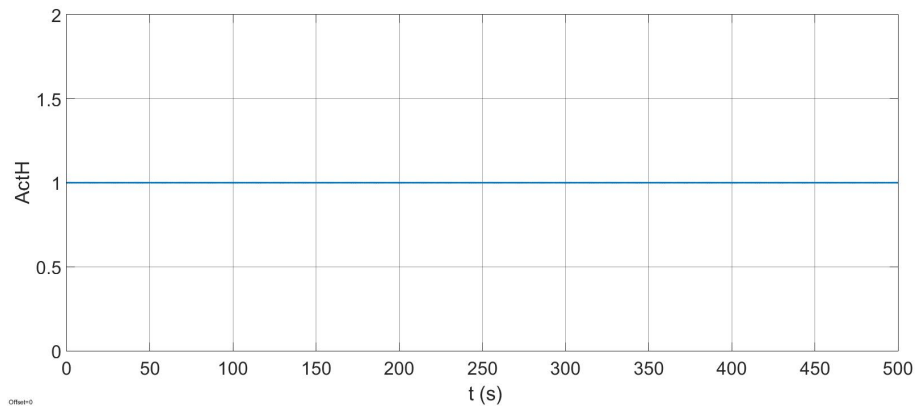
2.4: HVAC1 funtzioa histeresiarekin, non  $Error = |T_{req} - T_{inter}|$  eta  $deltaT = |T_{req} - T_{in}|$  diren.

HVAC1 funtzioari histeresia gehitu zaio, bidaiariak eskaturiko tenperaturekiko 1 °C-ko tenperaturako tartea utziz. Kanpoko tenperatura 0°C-koa denean histeresia aplikatuz berogailuaren bat-bateko piztu-itxiala ekiditen da 2.8 irudian ikus daitekeen bezala. Izan ere, 21 °C-ra iritsi arte ez da itzaliko eta hortik aurrera 19 °C-ra heldu arte ez da berriz piztuko.

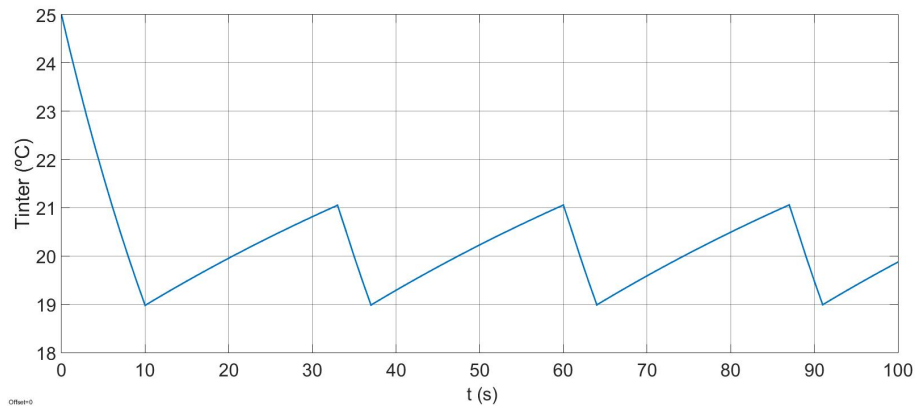
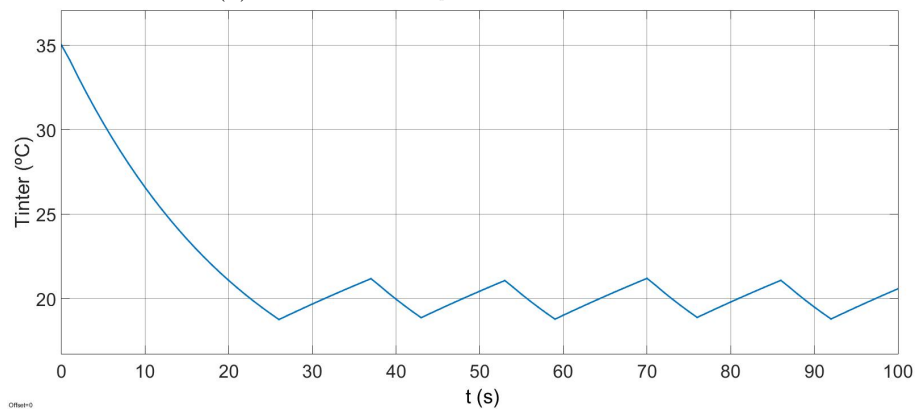
Kanpoko tenperatura nahi dena baino altuagoa denean, hozkailua martxan jartzen da, eta ikus daitekenez, ibilgailuaren tenperatura jaistea lortzen da baina ez da oreka lortzen. Histeresia aplikatuz 19°C lortu arte hozkailua martxan egongo da. Tenperatura horretatik aurrera hozkailua itzali egingo da 21 °C-ko tenperaturara heldu arte, 2.9 irudian ikus daitekeen modura.



(a)  $T_{inter}$  ibilgailu barruko tenperatura aldaketa denboran zehar.

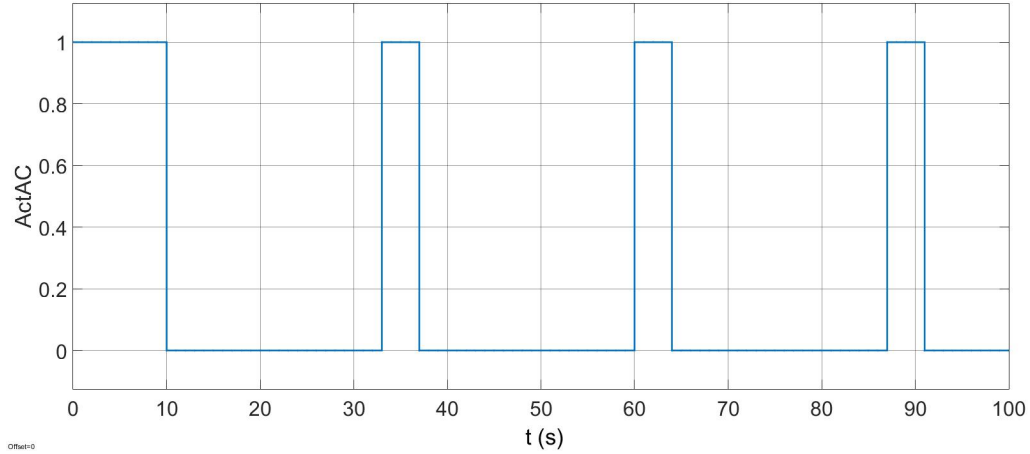
(b)  $ActH$  berogailuaren eragingailua denboran zehar.

2.8 irudia:  $T_{ext}$   $0^{\circ}\text{C}$  eta  $T_{req}$   $20^{\circ}\text{C}$  deneko simulaketa.

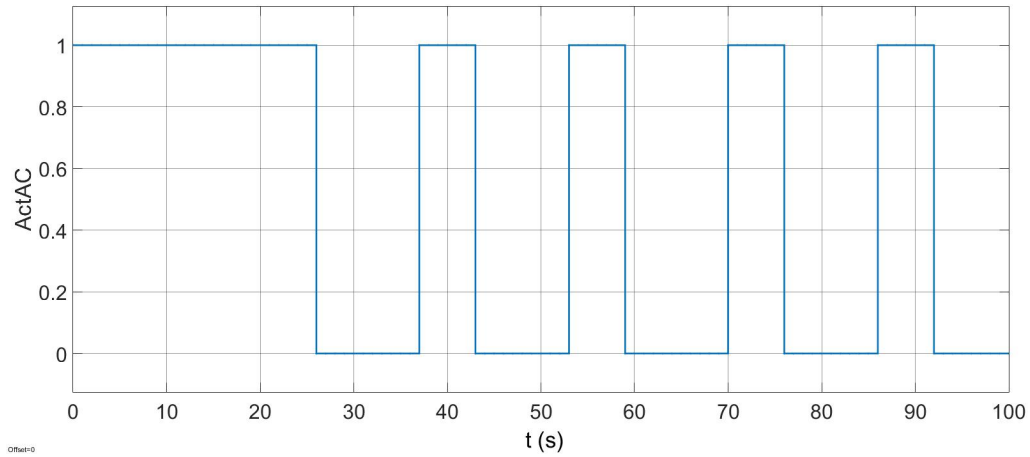
(a)  $T_{ext}$   $25^{\circ}\text{C}$  eta  $T_{req}$   $20^{\circ}\text{C}$  deneko simulaketa.(b)  $T_{ext}$   $35^{\circ}\text{C}$  eta  $T_{req}$   $20^{\circ}\text{C}$  deneko simulaketa.

2.9 irudia:  $T_{inter}$  ibilgailu barruko tenperatura aldaketa denboran zehar.

Hozkailuak ez duenez oreka lortzen, eragingailuaren piztu-itzaliak nabariagoak direla ikusi da. Histeresia sartzen denean orde, piztu-itzali hauen periodizitatea luzatzea lortzen da, 2.10 irudian ikusten den moduan, 37 segundora  $T_{inter}^0$  25 °C denean, eta 16 segundora 35 °C deneko kasuan.



(a)  $T_{ext} = 25^\circ\text{C}$  eta  $T_{req} = 20^\circ\text{C}$  deneko simulaketa.



(b)  $T_{ext} = 35^\circ\text{C}$  eta  $T_{req} = 20^\circ\text{C}$  deneko simulaketa.

2.10 irudia: ActAC hozkailuaren eragingailua denboran zehar.

### 3. Kapituluia

## Sare neuronal artifizialen oinarri teorikoa

Gizakion burmuina gorputzetik eta ingurunetik datorkion informazioa prozesatu eta hauen arabera erantzun bat sortzeko gai da. Burmuina neuronez osatuta dago eta hauek informazio kudeaketa sistema konplexu eta ez lineala osatzen dute, eragiketa ugari paraleloan egiteko gai dena. Sare neuronal artifizialek izaki bizidunen sistema neurobiologiko honetan oinarritzen dira. Sare hauetan burmuinaren arazoak ebazteko ahalmena eta sistema elektronikoen azkartasuna konbinatzen dira.

Gizakion pentsamendu bakoitzak sistema neurobiologikoaren aktibitate eredu jakin bat sortzen du. Burmuinean bezala, sare neuronal artifizialetan ingurunetik jasotako informazioak neuronetan aktibitate eredu bat induzitzen du, eta eredu honen arabera, sareak erantzun ezberdinak emango ditu. Aktibitate eredu hau ikasketa prozesu bat burutuz doitzen da. Horrela, sareak esperientziaren bidez ikasten du zein aktibitate eredu garatu erantzun egokiena emateko.

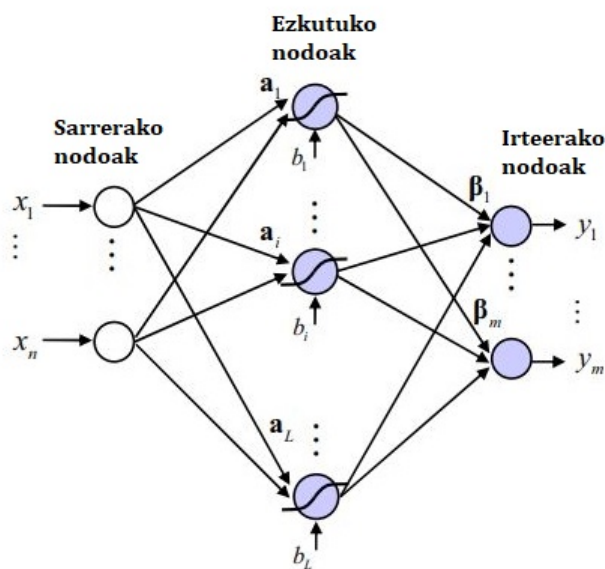
Azkeneko urteetan, sare neuronal artifizialek izugarrizko aurrerapenak ekarri dituzte. Izan ere, sare neuronal elkarlotu hauek zeharo aldatu dute sistema informatikoen datuak tratatzeko duten ahalmena. Teknika hauek erabiliz ikusmen artifizialeak garatu da, esate baterako, azaleko orinak minbizi sortzaile diren jakin dezaketen sistemak garatu dira. Seinale prozesaketan ere aurrerapen handiak ekarri ditu, seinalearen frekuentzia berdina duen zarata ezabatzea lortuz. Halaber, ahots errekonozimendu sistema edo finantza ereduen aurreikuspen metodo berriak sortu dira.

Sare hau nodo edo neurona artifizialen multzo elkarlotuan oinarritzen da. Sarrerako neuronek informazioa transmititzen dute ezkutuko maila edo geruzetan dauden neuronetara, eta ezkutuko neurona hauek, era berean, irteerako nodoetara transmititzen dute. Sarrerako neurona kopurua sarrerako aldagai kopuruaren berdina izan

behar da eta irteerako aldagaiena irteerako neurona kopuruen berdina. Ezkutuko mailatan ordea, nahi den nodo kopurua aukera daiteke. Lotura bakoitzak informazio transmisio hau baldintzatzen duen pisua izeneko balio lotu bat du. Sarrerako nodoetatik ezkutukoetara doazen loturen pisuei sarrerako pisuak deritze, eta ezkutukoetatik irteerakoetara doazen loturako pisuei irteerako pisuak. Honetaz gain, ezkutuko nodo bakoitzak atari-balio bat du. Ezkutuko neurona baten irteera, sarrerako seinalearen, sarrerako pisuen eta atari-balioaren menpekkoa da. Neurona multzo horien elkarduren eskema 3.1 irudian ikus daiteke.

### 3.1 Extreme Learning Machine metodoa

Extreme Learning Machine-ak (ELM) geruza bakarreko sare neuronal aurrelikatu (ingelesez *Single Layer Feedforward Neural Network*, SLFN) mota bat dira. Hau da, sare neuronal artifizial hauetan ezkutuko geruza bakarra dago eta informazioa aurrerantz soilik transmititzen da, sarrerako nodoetatik ezkutuko geruza bakarreko nodoetara, eta hauetatik irteerako nodoetara, inongo ziklorik gabe.



3.1 irudia: ELMetan erabiltzen den geruza bakarreko sare neuronal aurrelikatuaren eskema [9].

Normalean, SLFNetan sarrerako nodoetatik ezkutuko nodoetara doazen bektoreen pisuak eta nodo bakoitzaren atari-balioak doitu egin behar dira, nahi den irteera lortzeko. Parametro horiek doitzeko gradiente metodoa erabili ohi da, esate baterako, atzerantzko zabaltzea (ingelesez *Backpropagation*). Baina metodo hauek denbora kostu handia dute, konputazionalki eragiketa konplikatuak egin behar baitira.



Kostu konputazional hau gutxitu egin daiteke ELM metodoa erabiltzen bada. Metodo honek SLFNko parametroak ausaz esleitzen ditu, sarrerako nodoetatik ezkutuko nodoetara doazen bektoreen pisuak eta nodo horien atari-balioak ausaz aukeratuz. Ondoren, ezkutuko nodoak irteerako nodoekin lotzen dituzten bektoreen pisua kalkulatzeko da, ekuazio sistema lineal bat ebatziz. Beraz, ez denez iteratiboki parametroen doiketak egin behar, metodo hau askoz ere azkarragoa da. Gainera, ezkutuko nodoen kopuru aproposa aukeratzen bada algoritmo honek emaitza oso onak eskaintzen ditu [4].

Kontsidera dezagun  $n$  sarrera,  $m$  irteera eta ezkutuko geruzako  $L$  nodo dituen sare neuronala [8], 3.1 irudian erakusten den modura. Sarearen irteera, irteerako nodo bakarria hartzen dela kontsideratuz ( $m = 1$ ),

$$y(\mathbf{x}) = \mathbf{h}(\mathbf{x})\boldsymbol{\beta} = \sum_{i=1}^L \beta_i \cdot h_i(\mathbf{x}) \quad (3.1)$$

bezala orokortu daiteke, non  $\mathbf{h} = [h_1(\mathbf{x}), \dots, h_L(\mathbf{x})]^T$  ezkutuko nodoen irteera bektorea den  $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$  sarrerako bektorearentzat eta  $\boldsymbol{\beta} = [\beta_1, \dots, \beta_L]^T$  ezkutuko nodoak irteerako nodoekin lotzen dituen pisu bektorea den.

Ezkutuko geruzako  $i$  nodoaren irteerako bektorea

$$h_i(\mathbf{x}) = s(\mathbf{a}_i \cdot \mathbf{x} + b_i) \quad (3.2)$$

da, non  $s(\mathbf{a}_i \cdot \mathbf{x} + b_i)$  aktibazio funtzioa den. Aktibazio funtzio hau, sigmoide funtzioa, base erradialeko funtzioa, sinua, kosinua, esponentziala edo beste funtzio irregularren bat izan daiteke.  $\mathbf{a}_i \in \mathbb{R}^n$  sarrerako nodoak ezkutuko  $i$  nodoarekin lotzen dituen ausazko pisu bektorea da, eta  $b_i \in \mathbb{R}$   $i$  nodoaren ausazko atari-balioa.

Beraz,  $\mathbf{a}_i$  eta  $b_i$  ( $1 \leq i \leq L$ ) ausaz aukeratu ondoren  $\boldsymbol{\beta}$  ezkutuko nodoetatik irteerako nodoetara doazen pisuen bektorea zuzenean kalkula daiteke.

Kontsidera dezagun orain  $K$  lagin ditugula ( $n = m = K$ ). Horrela,  $\mathbf{x}_j \in \mathbb{R}^n$  sarrerako  $j$ garren bektorea eta  $\mathbf{t}_j \in \mathbb{R}^m$   $\mathbf{a}_j$ -ri dagokion irteerako bektorea izango dira,  $1 \leq j \leq K$  izanik. Sareak ikasketa prozesua burutzeko 3.1 ekuazioa ebatzi behar du lagin bakoitzarentzat:

$$\mathbf{T} = \mathbf{H}\mathbf{B} \quad (3.3)$$

non

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}(\mathbf{x}_1) \\ \mathbf{h}(\mathbf{x}_2) \\ \vdots \\ \mathbf{h}(\mathbf{x}_K) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1(\mathbf{x}_1) & \dots & h_L(\mathbf{x}_1) \\ h_1(\mathbf{x}_2) & \dots & h_L(\mathbf{x}_2) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_1(\mathbf{x}_K) & \dots & h_L(\mathbf{x}_K) \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_L \end{bmatrix} \quad \mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{t}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{t}_K \end{bmatrix}. \quad (3.5)$$

Beraz, (3.7) ekuazioko sistema lineala ebatziz,  $\mathbf{B}$  irteerako pisuen bektorea kalkula daiteke:

$$\mathbf{B} = \mathbf{H}^+ \mathbf{T} \quad (3.6)$$

non,  $\mathbf{H}^+$  Moore-Penrose-n alderantzizkoa den. Behin  $\mathbf{B}$  irteerako pisuen bektorea kalkulatuta, ELMak ematen dituen irteerako balioak kalkula daitezke:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{B}. \quad (3.7)$$

.

## 4. Kapituluia

# Klimatizadorearen kontrola sare neuronal artifizialen bidez

Klimatizadorearen kontrol sistemaren eredua egiteko ELMak erabili dira. ELMak ikasketa prozesua burutu behar du, sare neuronalen aktibitat eredua sortzeko. Ondoren, edozein daturen aurrean informazioa orokortu dezan. Horretarako, klimatizadorearen aldiuneko sarrera eta irteerako aldagaien balioak behar dira. Kasu honetan, sarrerako aldagaiak lortu nahi den  $T_{req}$  temperatura, kanpoko  $T_{ext}$  temperatura, ibilgailu barruko uneoroko  $T_{inter}$  temperatura eta birzirkulazioa nahi den ala ez izango dira. Sarrera hauen arabera *fan* haizagailuaren potentziaren, *flap* atearen posizioaren, *ActH* berogailuaren aktibazioaren eta *ActAC* hozkailuaren aktibazioaren kontrola egin beharko da.

Matlaben egindako eredutik ELMak behar dituen datuak lortu dira. Honela, simulaketak egin dira aldagai hauen balio ezberdinetarako: airearen birzirkulazioa,  $T_{req}$  eskatutako temperatura ( $16^{\circ}\text{C}$ tik  $24^{\circ}\text{C}$ ra aldatuz  $1^{\circ}\text{C}$ ko tartearekin), eta  $T_{ext}$  kanpoko temperatura ( $0^{\circ}\text{C}$ tik  $35^{\circ}\text{C}$ ra hau ere  $1^{\circ}\text{C}$ ko tartearekin). Aldagai ezberdin horiekin ereduak ematen duen ibilgailu barruko  $T_{inter}$  temperatura lortu da, baita *fan*, *flap*, *ActH* eta *ActAC* irteerak ere. Behin ELMak HVACaren kontrola egiteko behar diren sarrera eta irteerako datuak lortuta, matrize batean gorde dira irteerak lehenengo zutabeetan eta sarrerak ondorengo zutabeetan jarritz.

### 4.1 Extreme Learning Machine kodea

Erabili den ELM kodea Huangek 2004. urtean proposaturikoan oinarritu da [5] (ikusi 4.1 kodea). Kodeari lau parametro eman behar zaizkio: ikasteko datuen matrizea, azterketa egiteko edo ondorioztatzeko datuen matrizea, zenbat neurona nahi diren ezkutuko mailan eta zenbat irteera dauden. Exekutatu ondoren ikasketarako behar izan duen denbora, azterketarako denbora, ikasketaren errorea, azterketaren

errorea eta kalkulatu diren irteerak itzuliko ditu.

Kodeak ikasteko eta aztertzeko matrizeetan dauden datuak banatzen ditu, ikasketa eta azterketa matrizeetako lehenengo zutabeetan dauden  $\mathbf{T}$  irteerak  $T$  eta  $TV.T$  matrizeetan gordeaz, hurrenez hurren. Era berean,  $\mathbf{x}$  sarrerako datuak  $P$  eta  $TV.P$  matrizeetan gordetzen dira. Ondoren,  $\mathbf{a}_i$  sarrerako pisu bektorea eta  $b_i$  nodoen atari-balioak ausaz esleitzen dira nodo bakoitzarentzat.

Datu guztiak ditugularik aktibazio funtzioaren bidez  $\mathbf{H}$  ezkutuko nodoen irteera kalkulaten da. Kasu honetan, sigmoide funtzioa hartu da aktibazio funtziotzat. Ikasketa zatian  $\beta$  irteerako pisu bektorea,  $\mathbf{T}$  irteerako datuekin eta  $\mathbf{H}$  matrizearen Moore-Penrosen alderantzizkoarekin kalkulaten da. Behin  $\beta$  irteerako pisu bektorea jakinda,  $\mathbf{Y}(\mathbf{x})$  irteerako datuen estimazioa lortzen da. Ondoren, ikasketa prozesuak behar izan duen denbora eta bere errorea kalkulaten dira. Errorea batez besteko errore koadratikoaren erroaren bidez kalkulaten da.

Azterketako zatian, dugun sare neuronalarekin,  $\mathbf{TY}(\mathbf{x})$  irteerako datuen estimazioa egiten da. Azkenik, programak azterketa burutzeko behar izan duen denbora eta errorea kalkulaten dira.

```

1 function [TrainingTime, TestingTime, TrainingAccuracy, TestingAccuracy, TY]
   = ELM_proba( TrainingData_File, TestingData_File, NumberofHiddenNeurons,
   NumberofOutputs)
2
3
4 %% Generates new seed each time
5 rng(cputime*100)
6
7 %% Load training dataset
8 train_data=load( TrainingData_File, '-ascii' );
9 T=train_data(:,1:NumberofOutputs)';
10 P=train_data(:,NumberofOutputs+1:size(train_data,2))';
11 clear train_data;
12
13 %% Load testing dataset
14 test_data=load( TestingData_File, '-ascii' );
15 TV.T=test_data(:,1:NumberofOutputs)';
16 TV.P=test_data(:,NumberofOutputs+1:size(test_data,2))';
17 clear test_data;
18
19 NumberofTrainingData=size(P,2);
20 NumberofTestingData=size(TV.P,2);
21 NumberofInputNeurons=size(P,1);
22
23 %% Calculate weights & biases
24 start_time_train=cputime;
25
26 % Random generate input weights and biases of hidden neurons

```

```

27 InputWeight=rand(NumberOfHiddenNeurons,NumberOfInputNeurons)*2-1;
28 BiasofHiddenNeurons=rand(NumberOfHiddenNeurons,1);
29 tempH=InputWeight*P;
30 clear P;
31 ind=ones(1,NumberOfTrainingData);
32 BiasMatrix=BiasofHiddenNeurons(:,ind); % Extend the bias matrix
    BiasofHiddenNeurons to match the demention of H
33 tempH=tempH+BiasMatrix;
34
35 %% Calculate hidden neuron output matrix H
36 H = 1 ./ (1 + exp(-tempH)); % Sigmoid function
37 clear tempH;
38
39 %% Calculate output weights OutputWeight (beta)
40 OutputWeight=pinv(H') * T';
41
42 end_time_train=cputime;
43 TrainingTime=end_time_train-start_time_train; % Calculate CPU time (seconds)
    spent for training ELM
44
45 %% Calculate the training accuracy
46 Y=(H' * OutputWeight)'; % Y: the actual output of the training data
47
48 for i=1:NumberOfOutputs
49     TrainingAccuracy(i)=sqrt(mse(T(i,:) - Y(i,:))); % Calculate training
        accuracy (RMSE)
50 end
51 clear H;
52
53 %% Calculate the output of testing input
54 start_time_test=cputime;
55 tempH_test=InputWeight*TV.P;
56 clear TV.P;
57 ind=ones(1,NumberOfTestingData);
58 BiasMatrix=BiasofHiddenNeurons(:,ind); % Extend the bias matrix
    BiasofHiddenNeurons to match the demention of H
59 tempH_test=tempH_test + BiasMatrix;
60 H_test = 1 ./ (1 + exp(-tempH_test)); % Sigmoid function
61 TY=(H_test' * OutputWeight)'; % TY: the actual output of the testing data
62 end_time_test=cputime;
63 TestingTime=end_time_test-start_time_test; % Calculate CPU time (seconds)
    spent by ELM predicting the whole testing data
64
65 for i=1:NumberOfOutputs
66     TestingAccuracy(i)=sqrt(mse(TV.T(i,:) - TY(i,:))); % Calculate testing
        accuracy (RMSE)
67 end
68
69 end

```

4.1: ELM metodoa inplementatzeko erabili den kodea.

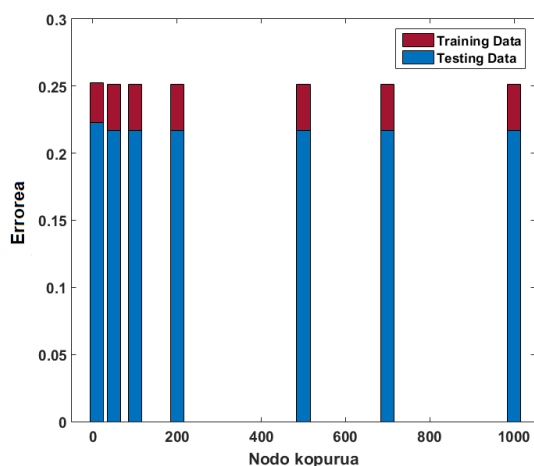
## 4.2 Extreme Learning Machine-aren erantzuna

ELMarekin klimatizadorearen ereduaren erantzuna aztertuko da. Ditugun sarrerako eta irteerako datuekin, sare neuronal ezberdinen azterketa egingo da. Hasteko, irteera bakar bateko lau sare neuronal inplementatuko dira. Lauak sarrera berdinak edukiko dituzte, baina irteera ezberdina. Horretarako, 50000 ausazko datu erabiliko dira: 45000 ikasteko eta 5500 sare neuronala ebaluatzeko. Beraz, azterketa matrizearen datu kopurua, ikasketa matrizearen zortziren bat izango da. Sare neuronal konfigurazio bakoitzeko erroreak eta exekuzio denborak aztertuko dira. Ondoren, lau irteerak aldi berean kalkulatzen dituen sare neuronala inplementatuko da, hau da, sare neuronal bakarra irteera guztientzat. Kasu honetan, erroreak eta exekuzio denborak aztertuko dira ere.

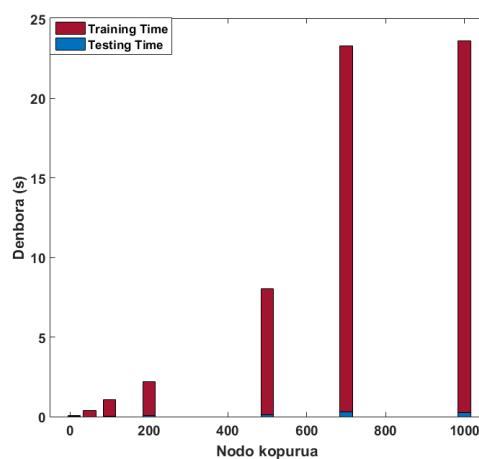
ELM metodoak pisuak eta atari-balioak ausaz aukeratzen ditunez, simulaketa bakoitzean sare neuronal ezberdinak sortzen dira, emaitza ezberdinak lortu ahal izanik. Horregatik, konfigurazio bakoitzeko 50 neurona-sare sortu dira da, eta ondoren, neurona-sare guzti horien emaitzen bataz bestekoa kalkulatu da emaitza orokortua lortzeko.

### Irteera bakarra

Hasteko, ezkutuko mailaren nodo kopuruak ELM metodoak ematen duen errorean duten eragina aztertu da. Aldi berean, nodo hauen kopuruak duen kostu konputazionala ikusi da. Horretarako, ezkutuko geruzako nodo kopurua 50, 100, 200, 500, 700 eta 1000n ezarri sare neuronal ezberdinak inplementatu dira. Behin sare neuronalak inplementatuta ikasketa eta ondorioztatze prozesuen emaitzak lortu dira. Emaitza hauek 4.1 irudian, 4.2 irudian, 4.3 irudian eta 4.4 irudian ikus daitezke.

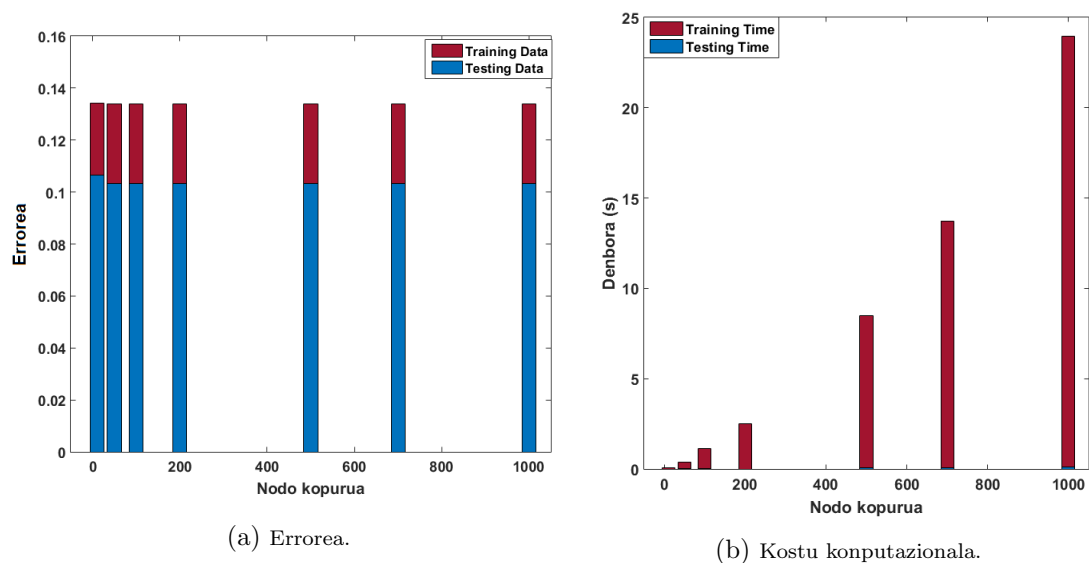


(a) Errorea.



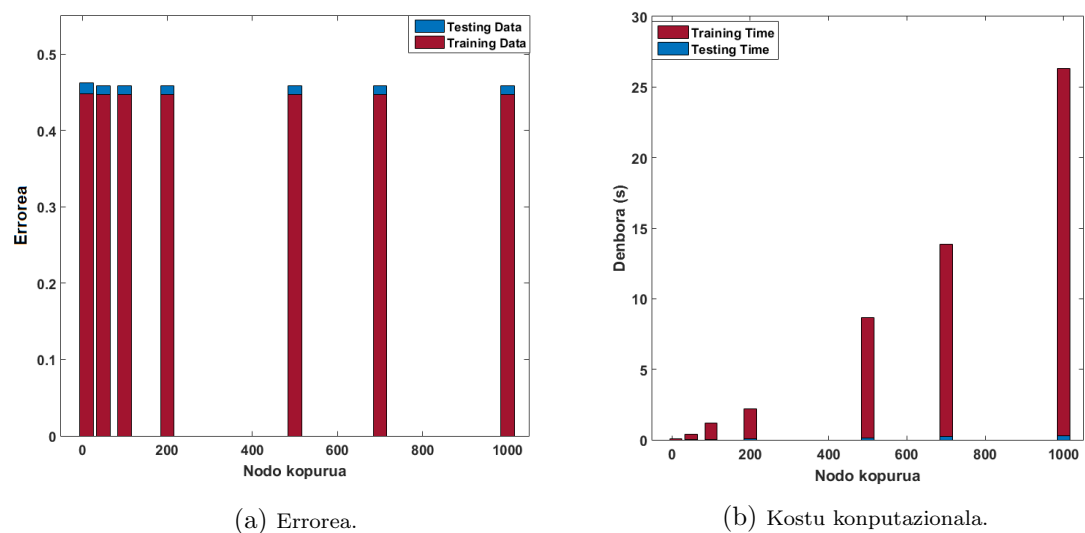
(b) Kostu konputazionala.

4.1 irudia: *flap*aren irteera ELMko geruza ezkutuko nodo kopuruaren arabera.

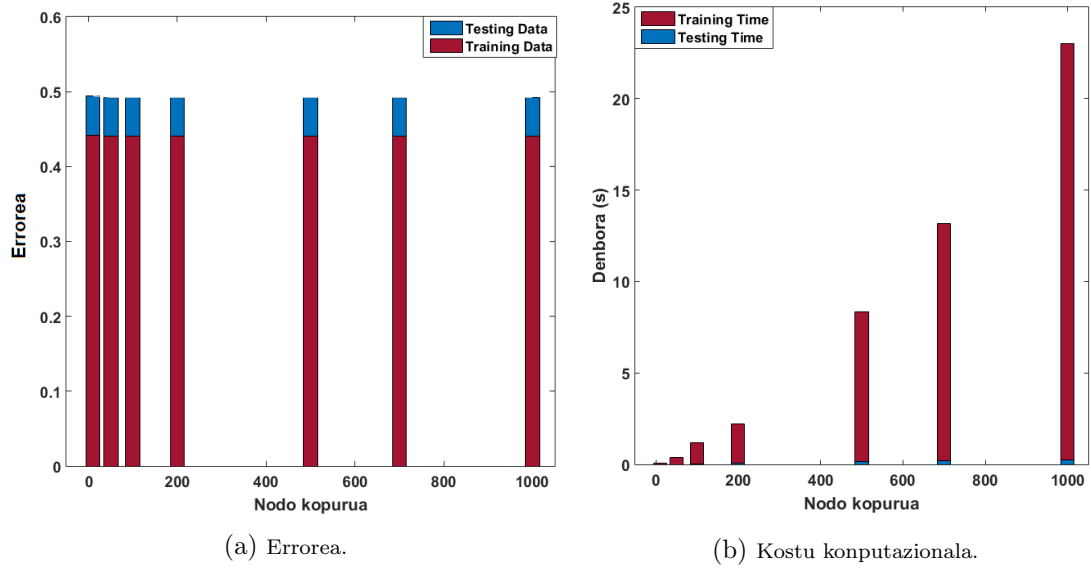


4.2 irudia: *fan*aren irteera ELMko geruza ezkutuko nodo kopuruaren arabera.

Errore aldetik 200 nodotik gora aldaketarik ez dagoela ikusten da. Gainera, zenbat eta nodo kopuru handiagoa, ikasketa eta ondorioztatze prozesuaren denbora ere orduan eta handiagoa da. Beraz, 200 nodoko neurona sareak inplementatzea erabaki da. Nodo kopuru honetarako, *flap* eta *fan* eragingailuen ondorioztatze erroreak txikiak dira: *flap*aren errorea 0.248 da eta *fan*arena 0.136. *ActAC* eta *ActH* eragingailuen errorea ordea askoz handiagoa da: 0.456 eta 0.594, hurrenez hurren.

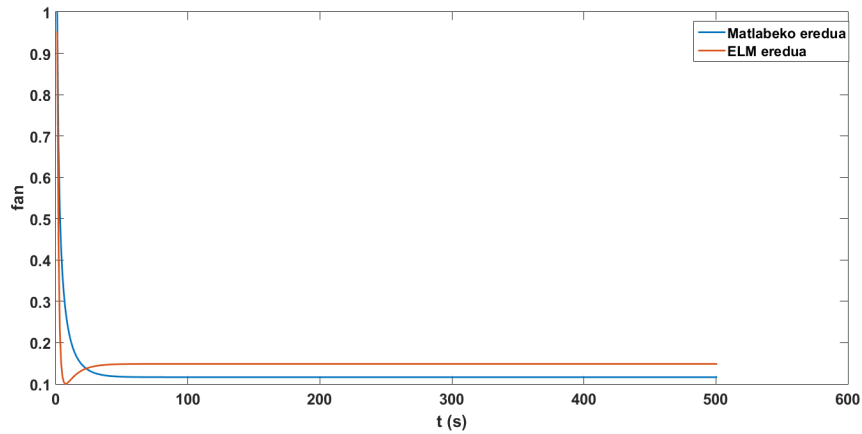


4.3 irudia: *ActAC*aren irteera ELMko geruza ezkutuko nodo kopuruaren arabera.



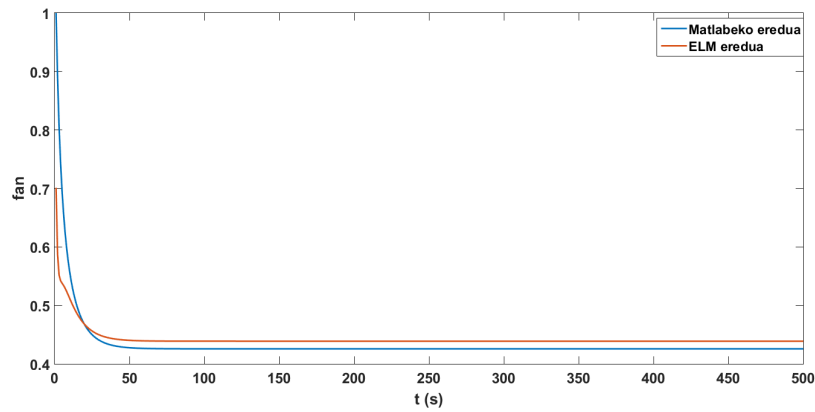
4.4 irudia: *ActH*aren irteera ELMko geruza ezkutuko nodo kopuruaren arabera.

ELM metodoaren bidez lortutako emaitzak bisualki ikusteko, Matlabeko simulaketa zehatz batzuen datuak hartu eta emaitzak konparatu dira. Lehenik, *fan* eta *flaper*ako ELMak emandako emaitzak eta datu errealak konparatu dira. Horretarako, eskatutako  $T_{req}$  tenperatura 20°C-tan ezarri da, eta kanpoko  $T_{ext}$  tenperaturari bi balio ezberdin eman zaizkio: 10°C eta 30°C. Bi irteerako aldagaientzat ELM bidezko kontrolaren emaitza lortu da, ikusi 4.5 irudia eta 4.6 irudia.



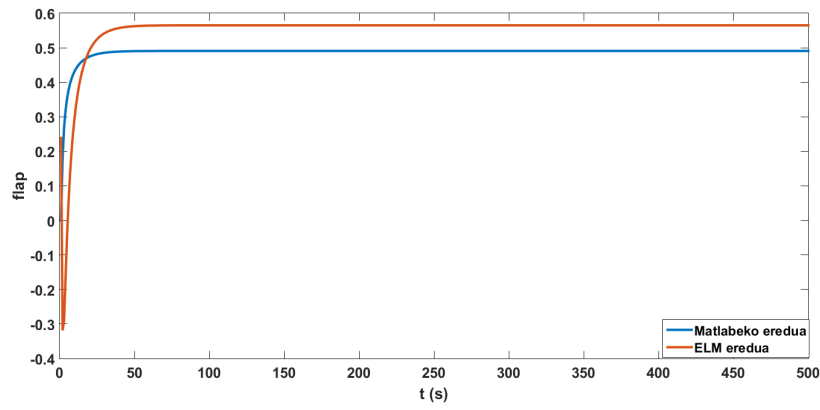
(a)  $T_{ext}$  10°C deneko simulaketa.



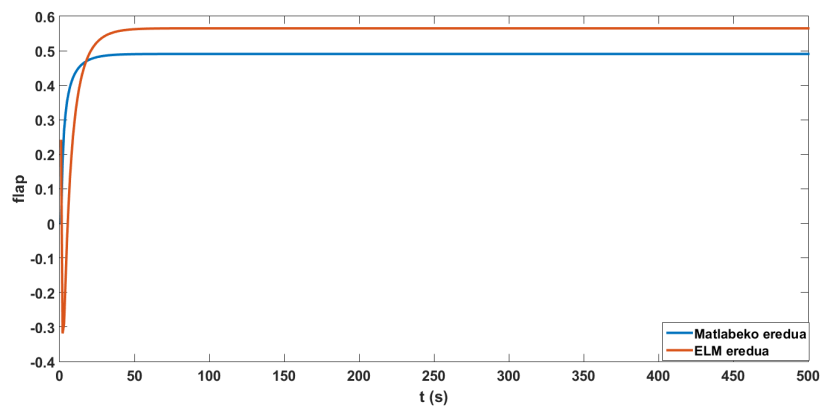


(b)  $T_{ext} = 30\text{ °C}$  deneko simulaketa.

4.5 irudia:  $fan$ aren irteera denboraren menpe.



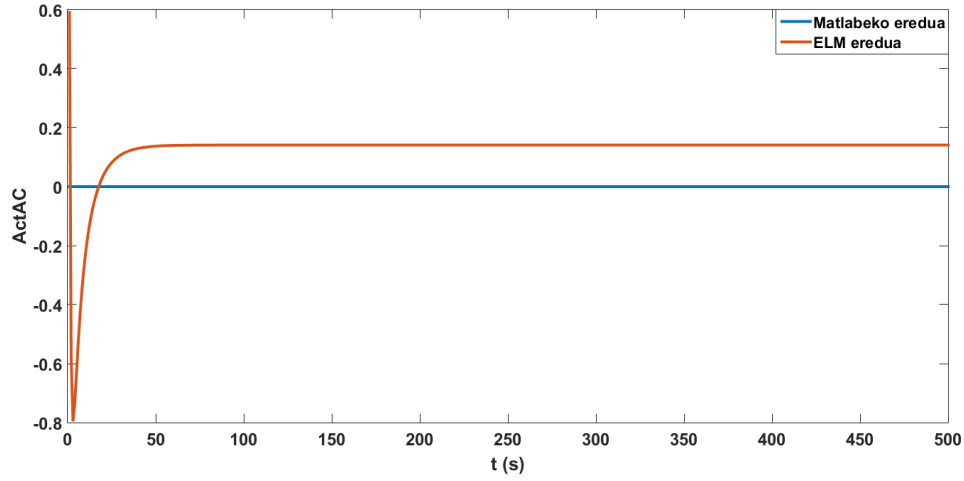
(a)  $T_{ext} = 10\text{ °C}$  deneko simulaketa.



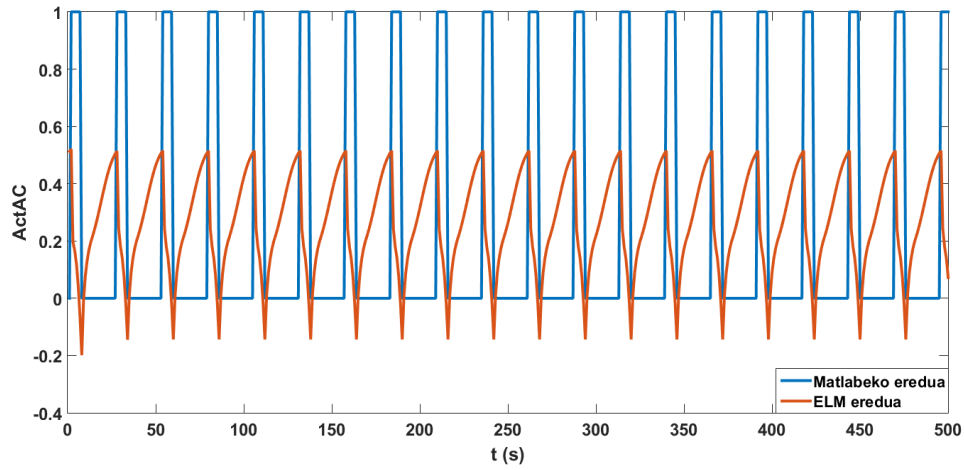
(b)  $T_{ext} = 30\text{ °C}$  deneko simulaketa.

4.6 irudia:  $flap$ aren irteera denboraren menpe.

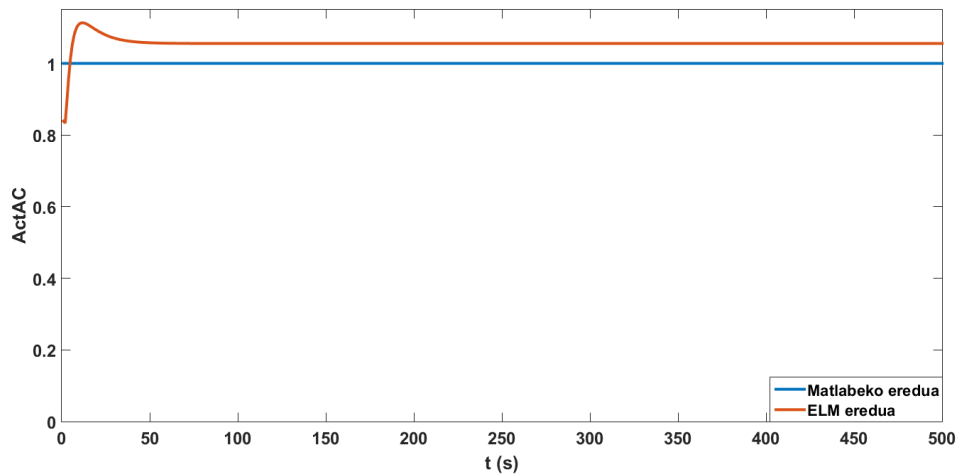
ELMa bidez *fan* eta *flap* eragingailuentzat lortzen diren emaitzak datu errealen antzekoak dira. Bien arteko errorea, aurretik kalkulatorikoaren berdina dela ikus daiteke: 0.248 ingurukoa *flap*aren kasurako eta 0.136 *fan*aren kasurako.



(a)  $T_{ext}$  10°C deneko simulaketa.



(b)  $T_{ext}$  21 °C deneko simulaketa.

(c)  $T_{ext}$  30 °C deneko simulaketa.

4.7 irudia: *ActAC*ren irteera denboraren menpe.

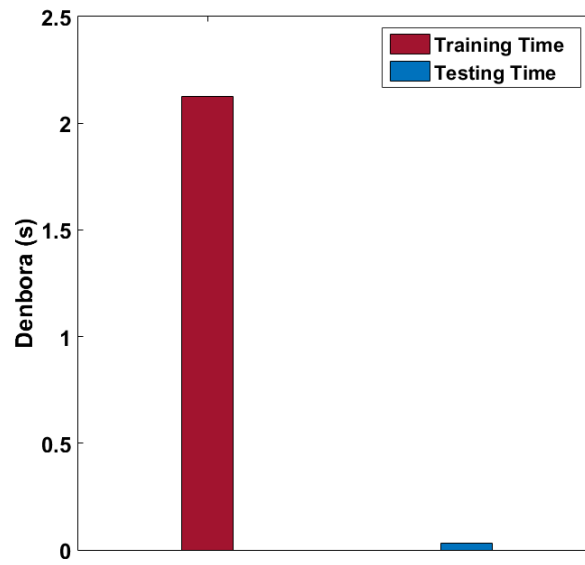
Ondoren, *ActAC* irteeraren emaitza aztertu da. Horretarako,  $T_{req}$  ere 20°C-tan ezarri da, baina kanpoko  $T_{ext}$  tenperaturari hiru balio ezberdin eman zaizkio: 10°C, 21°C eta 30°C. Eragingailuak piztu eta itzaltzean zer gertatzen den ikusteko aztertu da 21°C-ko kasua. Lortu diren emaitzak 4.7 irudian ikus daitezke.

Irudietan ikus dezakegu, *ActAC* konstantea denean, emaitza nahiko hurbiltzen dela balio errealerara, ez denean konstantea ordea, ez da hain emaitza ona lortzen. Emaitzak jatorrizko seinalearen forma du baina errorea oso handia da. Errore hau 4.3 irudian ikusitakoa da.

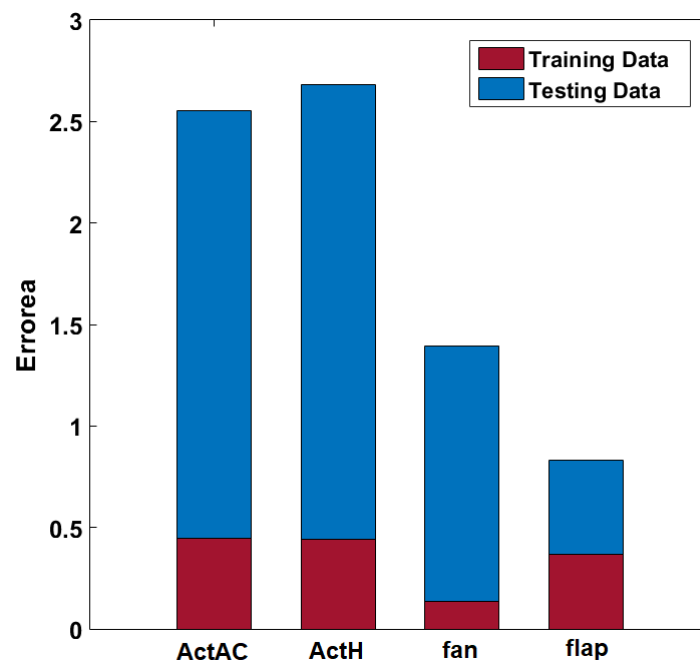
### Lau irteera

Azkenik, lau irteerako ELMak eman dituen emaitzak aztertu dira. Aurreko atalean lortu diren emaitzengatik, ezkutuko geruzan 200 nodo jartzea erabaki da. Simulaketak behar izan dituen ikaste eta aztertze denborak 4.8 irudian ikus daitezke. Emaitzak aurreko atalean lortutakoekin konparatuz gero, ikus daiteke lau irteerak batera kalkulatzeak ez duela koste konputazionalik gehitzen.

Kasu honetan, eragingailu bakoitzeko irteera bat dugunez lau errore izango ditugu (ikusi 4.9 irudia). Ikasketako errorea azterketakoa baino txikiagoa dela ikus daiteke. Ondorioztatzeko erroreak 2.57, 2.27, 1.47 eta 0.98 dira, *ActAC*, *ActH*, *fan* eta *flaparentzat*, hurrenez hurren. Errore hauek ELMak irteera bakarra kalkulatu behar zuenean baino handiagoak dira.



4.8 irudia: ELMak lau irteera kalkulatzeko behar izan dituen denborak 200 ezkutuko nodorekin.



4.9 irudia: ELMko lau irteeren erroreak 200 ezkutuko nodorekin.

# Ondorioak

Gradu amaierako lan honetan ibilgailu baten klimatizadorearen funtzionamendua eta bere atzean dagoen termodinamikako kontzeptu nagusiak aztertu dira. Ezagutza hauetan oinarrituta Matlaben klimatizadorearen eredu bat egitea lortu da. Halaber, sare neuronal artifizialen teoria aztertu da, ELM metodoan zentratuz. Azkenik, inplementatutako ELMaren erantzuna aztertu da.

ELMak klimatizadorea modelizatzeko, datu errealeak beharko genituzke, baina datu hauek ezin izan ditugunez lortu Matlabeko ereduak sortu da. Eredu hau hurbilketa bat izan arren, ibilgailuaren tenperatura modu errealistan zehazteko gai dela ikusi dugu.

Lan honetan ELMen bidez klimatizadorea modelizatu daitekeela frogatu nahi izan da. Azkeneko ataleko emaitzak ikusiz *fan* eta *flap* aldagaiak zehaztasunez hurbiltzen dituela esan daiteke. Hala ere, *ActAC* eta *ActH* eragingailuen irteerak ez ditu horren ondo kalkulatzeko. ELMen irteerako seinaleak sarrerakoekiko koherenteak izan arren, bien arteko erroreak handiak dira. Izan ere, nahiz eta *ActAC* eta *ActH* seinale digitalak izan, ELMak informazioa orokortzen duenez tarteko balioak ematen ditu. Errore hau ekiditeko seinale jarraitu hori diskretizatu ahalko litzateke programa sinple baten bidez. Gainera, ikusi dugu ELMak irteera bat baino gehiago dituen zehaztasuna galdu dezakeela.

Azkenik, aipatu behar da interesgarria izango litzatekela ELMen metodoa moldatzea seinale digitalak zehaztasunez kalkulatzeko. Halaber, hurrengo pausua, ibilgailu baten sentore bidez lortutako datu errealekin ELMak zein erantzun ematen duten aztertzea izango litzateke. Gainera, ELMek kontrol pertsonalizatua eskaini dezaketenez ikusteko, datu hauek gidari ezberdinenak sortutakoak izatea oso interesgarria izango litzateke.



# Bibliografia

- [1] N. CASIDDU, S. GIULINI, *Albedo decreasing trend. White cars proposal and new urban scenarios.*, DISEGNARECON, vol. 7, no. 13, 1-9, 2014.
- [2] Y. FARZANEH, A. A. TOOTOONCHI, *Controlling automobile thermal comfort using optimized fuzzy controller*, Applied Thermal Engineering, vol. 28, 1906-1917, 2008.
- [3] Y. FARZANEH, A. A. TOOTOONCHI, *Intelligent Control of Thermal Comfort in Automobile*, 2008 IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, 510-514, 2008.
- [4] G. B. HUANG, G. B. HUANG, S. SONG, K. YOU, *Trends in extreme learning machines: A review*, Neural Networks, vol. 61, 32-48, 2015.
- [5] G. B. HUANG, Q. Y. ZHU, C. K. SIEW, *Extreme learning machine: Theory and applications*, Neurocomputing, vol. 70, issues 1-3, 489-501, 2006.
- [6] B. S. K. K IBRAHIM, M. A .N. AZIAH, S. AHMAD, R. AKMELIAWATI, H. M. I. NIZAM, A. G. A. MUTHALIF, S. F. TOHA, M. K. HASSAN, *Fuzzy-based Temperature and Humidity Control for HV AC of Electric Vehicle*, Procedia Engineering, vol. 41, 904-910, 2012.
- [7] C. L. LI, S. L. CHUNG, *Enthalpy-based automatic temperature control for automobiles*, 2009 IEEE Control Applications, (CCA) Intelligent Control, (ISIC), 222-227, 2009.
- [8] V. MARTÍNEZ, I. DEL CAMPO, J. ECHANOBÉ, E. ASUA, R. FINKER, K. BASTERRETXEA, *A Versatile Hardware/Software Platform for Personalized Driver Assistance based on Online-Sequential Extreme Learning Machines*, 2017.
- [9] V. MARTÍNEZ, I. DEL CAMPO, J. ECHANOBÉ, K. BASTERRETXEA, *Driving Behavior Signals and Machine Learning: A Personalized Driver Assistance System*, 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2933-2940, 2015.

- [10] MATLAB SIMULINK, *Simulating Automatic Climate Control Systems*,  
[https://es.mathworks.com/help/simulink/examples/  
simulating-automatic-climate-control-systems.html](https://es.mathworks.com/help/simulink/examples/simulating-automatic-climate-control-systems.html)
- [11] D. MICHALEK, C. GEHSAT, R. TRAPP, T. BERTRAM, *Hardware-in-the-loop-simulation of a vehicle climate controller with a combined HVAC and passenger compartment model*, 2005 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 1065-1070, 2005.
- [12] C. A. ROMERO PIEDRAHITA, Y. A. CARRANZA SANCHEZ, *Rating of Thermal Capacity of a Heat Radiator*, Scientia et Technica Año XIII, no. 35, 225-230, 2007.
- [13] P. SABHARWALL, V. UTGIKAR, F. GUNNERSON, *Effect of Mass Flow Rate on the Convective Heat Transfer Coefficient: Analysis for Constant Velocity and Constant Area Case*, Nuclear technology, vol.166, 197-200, 2009.
- [14] H. D. YOUNG, R. A. FREEDMAN, A. L. FORD, *Física Universitaria, Volumen 1*, Pearson Educación, 2009.
- [15] M. W. ZEMANSKY, R. H. DITTMAN, *Heat and Thermodynamics*, The McGraw-Hill Companies Inc., 1976.